

# Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Vehicles Aeroespacials

Sergi Juan-Torres Cabanes

## **Millora del hardware dels UAVs utilitzats per combatre les plagues de llagosta al desert.**

### **MEMÒRIA**

**Director:** Daniel Garcia

**Co-Director:** Sergi Tres

**Concovatoria:** 30 de Setembre del 2019



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**



## Resum

El present document i projecte té l'objectiu de continuar amb el desenvolupament d'un sistema basat amb l'actual tecnologia UAV (Unnamed aerial vehicle) amb la qual oferir una eina actualitzada per la lluita contra les plagues de llagosta.

Les plagues de llagosta amenacen els recursos agrícoles els quals són la base de la subsistència humana i animal, estem parlant dels cultius, camps de pastura, muntanyes, entre altres. És una de les plagues més crítiques i nocives, ja que tenen la capacitat de desplaçar-se per aire fins a 150 km per dia a part de poder travessar oceans com l'Atlàntic.

La metodologia emprada és l'ús de plataformes UAVs. Aquesta tecnologia està demostrant ser una de les puntes de llança en l'àmbit tecnològic en moltes àrees, disciplines i indústries gràcies a la seva versatilitat i accessibilitat.

El plantejament d'aquest projecte és la continuació dels anteriors treballs per a obtenir una solució més eficaç i avantguardista en els UAVs utilitzats actualment per a combatre les plagues de llagosta.

Tots els recursos emprats que engloben el desenvolupament de les plataformes en l'àmbit tècnic i operacional han estat prestades per l'empresa HEMAV, l'operadora número 1 d'UAV a Espanya.

Finalment es pot observar que entre els mètodes utilitzats en un principi i els utilitzats en les últimes operacions, hi ha un salt considerable tant en l'àmbit tecnològic com en l'àmbit de recursos humans en els mètodes emprats i les solucions que s'estan començant a dur a terme. On l'objectiu d'aquest TFG és poder seguir contribuint en aquests avenços per combatre aquesta causa.

## Declaració d'honor

I declare that, the work in this Degree Thesis is completely my own work,  
no part of this Degree Thesis is taken from other people's work without giving them credit,  
all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's related information I'm providing in this document.

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Sergi Juan-Torres Cabanes

30/9/2019

Student Name

Signature

Date

Title of the Thesis :

Millora del hardware dels UAVs utilitzats per combatre les plagues de llagosta al desert.



## Agraïments

Expressar abans de res els meus sincers agraïments a l'empresa HEMAV per haver-me donat l'oportunitat de formar part d'un projecte humanitari tan gran, amb tant impacte social i donar-me llibertat per aplicar les meves idees.

Donar les gràcies a tots els membres d'Hemav per acollir-me tan bé des del primer dia i interessar-se perquè aprenguéssim tot el possible sobre el projecte. Agrair també la seva ajuda en tot el que he necessitat i en qualsevol moment que ha fet falta.

Donar les gràcies especialment a en Sergi Tres, el meu tutor per part de l'empresa i a en Daniel Bajiou, el primer tutor que vaig tenir a l'empresa però que per motius interns d'aquesta no va poder seguir duent a terme la seva funció de tutor. També donar les gràcies a en Pau Mateo, el *Product developer manager* per ajudar-me amb tot el que ha fet falta en relació als drons i donar-me llibertat per treballar amb aquests.

Finalment agraït a en Daniel Garcia, el tutor per part de l'escola per la seva ajuda i el seu interès des del primer dia fins a l'últim.



# Índex

<b>Introducció</b>	<b>9</b>
<b>1 Introducció a les llagostes del desert i el marc ambiental</b>	<b>10</b>
1.1 Descripció del problema . . . . .	10
1.1.1 Estudi de les llagostes del desert . . . . .	10
1.1.2 Àrees afectades . . . . .	13
1.1.3 Problema actual i rol de la FAO . . . . .	14
1.2 Estat de l'art . . . . .	16
1.2.1 Viatge a Mauritània . . . . .	16
1.2.2 Evolució 2018-2019 . . . . .	19
1.2.3 Viatge a Oman . . . . .	22
1.3 Objectius principals . . . . .	26
<b>2 Estudi dels perfils alars.</b>	<b>27</b>
2.1 Introducció. . . . .	27
2.2 Perfils alars. . . . .	28
2.2.1 Anàlisi dels perfils alars. . . . .	32
2.3 Disseny de les ales. . . . .	37
2.3.1 Anàlisi de les ales. . . . .	39
2.4 Forces sobre les ales. . . . .	44
<b>3 Estudi sobre la robustesa de l'UAV.</b>	<b>46</b>
3.1 Plataforma d'ala fixa HP2. . . . .	46
3.2 Com es pot millorar . . . . .	49
3.2.1 Pintura aïllant tèrmica . . . . .	50
<b>4 Estudi de l'autonomia de vol.</b>	<b>58</b>
4.1 Bateria actual tipus LiPo. . . . .	58
4.2 Recerca sobre possibles recanvis. . . . .	60
4.2.1 Validació teòrica. . . . .	62
4.3 Prova al camp de vol. . . . .	66
<b>5 Proposta per a la telemetria.</b>	<b>69</b>
5.1 Problema amb la telemetria. . . . .	69
5.1.1 Antenes direccionals i antenes de seguiment. . . . .	70
<b>6 Pressupost.</b>	<b>74</b>
<b>Conclusions</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>78</b>

## Índex de figures

1	Classificació científica de les llagostes del desert. . . . .	11
2	Fases de les llagostes del desert. . . . .	12
3	Diferències de color de les llagostes en l'eixam (esquerra) i solitàries (dreta). . . .	13
4	Països afectats. . . . .	14
5	Membres d'HEMAV Foundation en una sessió de planificació tàctica amb les forces aèries de Mauritània. . . . .	17
6	Vol de llarg abast a Mauritània. . . . .	17
7	Vol de 32 km de transsecte amb imatge del terra (esquerra) i imatge amb codi de colors després de processar les dades (dreta). . . . .	18
8	Evaluació dels sistemes després del viatge a Mauritània. . . . .	18
9	Nou sistema d'enlairament. . . . .	20
10	Protectors dels servos. . . . .	20
11	Hèlix plegable. . . . .	21
12	HEMAV Planner. . . . .	22
13	Comparació entre les proves de camp a Mauritània i a Oman. . . . .	23
14	Estat del desenvolupament i millores. Comparació entre les proves de camp de Mauritània i Oman. . . . .	25
15	Perfil NACA 2411. . . . .	29
16	Perfil NACA 2415. . . . .	29
17	Perfil NACA 4412. . . . .	30
18	Perfil NACA 4415. . . . .	30
19	Perfil NACA 6409. . . . .	31
20	Perfil NACA 6412. . . . .	31
21	Perfil CLARK Y. . . . .	32
22	Corbes perfil NACA 2411. . . . .	33
23	Corbes perfil NACA 2415. . . . .	33
24	Corbes perfil NACA 4412. . . . .	34
25	Corbes perfil NACA 4415. . . . .	34
26	Corbes perfil NACA 6409. . . . .	35
27	Corbes perfil NACA 6412. . . . .	35
28	Corbes perfil CLARK Y. . . . .	36
29	Dades del disseny. . . . .	37
30	Disseny ales (perfil NACA 2411 implementat). . . . .	38
31	Dades anàlisi de les ales 1. . . . .	38
32	Dades anàlisi de les ales 2. . . . .	39
33	Relació entre el coeficient de sustentació i l'angle d'atac. . . . .	40
34	Relació entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència. . . . .	40
35	Relació entre $CL^{3/2}/CD$ i l'angle d'atac. . . . .	41
36	Relació entre $CL/CD$ i l'angle d'atac. . . . .	42
37	Distribució forces de pressió en cada secció de l'ala en un angle d'atac de $6^\circ$ . . . .	44
38	Variació de la sustentació al llarg de l'ala. . . . .	45
39	Plataforma d'ala fixa HP2. . . . .	46
40	Muntatge de l'UAV. . . . .	47
41	Plataforma d'ala fixa completa. . . . .	49
42	Superfície a pintar d'una sola ala. . . . .	51
43	Superfície del buc a pintar. . . . .	53
44	Dibuix esquemàtic del buc. . . . .	54

---

45	Dibuix superfície 5 amb el polinomi trobat. . . . .	55
46	Tattu 4500mAh 22.2V 6S 25C Lipo Battery Pack. . . . .	59
47	Llistat total de bateries. . . . .	60
48	Llistat final de bateries candidates. . . . .	61
49	Escuma adequada pel posicionament de la càmera i les bateries. . . . .	66
50	Noves bateries instal·lades. . . . .	67
51	Recorregut del vol realitzat. . . . .	67
52	Mòdul de telemetria RFD900+. . . . .	69
53	Equip de telemetria de llar abast. . . . .	69
54	Antena Yagi. . . . .	71
55	Esquema antena Yagi. . . . .	71
56	Antena <i>trackers</i> de la marca Arkbird-AAT. . . . .	72

## Índex de taules

1	Resultats obtinguts en la comparació entre el perfil NACA 2411 i el Clark-Y. . . .	43
2	Hardware. . . . .	47
3	Operacions. . . . .	48
4	Propietats <i>Imperlux termic outdoor</i> . . . . .	50
5	Taula de valors. . . . .	56
6	Especificacions bateria actual. . . . .	58
7	Especificacions del conjunt format per les dues bateries connectades en paral·lel. . . . .	59
8	Variació de l'autonomia segons el pes. . . . .	63
9	Variació de l'autonomia segons la capacitat. . . . .	64
10	Pressupost total. . . . .	74

## Introducció

L'objectiu d'aquest projecte és oferir millores en la tecnologia UAV utilitzada per combatre les plagues de llagostes. Aquest document és la continuació d'anys de treball i recerca en la lluita per prevenir la propagació de llagostes del desert a Europa i lluitar contra les plagues existents al nord d'Àfrica mitjançant l'ús de tecnologia UAV. En aquest document tots els esforços se centren únicament en el hardware de l'UAV.

El document està dividit en els apartats següents:

**El primer apartat** està dedicat a un estudi biològic sobre les llagostes del desert, presentar el problema que provoquen les plagues de llagostes i l'impacte que té sobre el marc ambiental. Finalment s'exposen els viatges realitzats fins al moment, focalitzant la redacció en l'evolució que ha anat patint l'UAV. Es presenten els objectius principals d'aquest document, els quals es poden separar en dos grans grups.

**El segon apartat** està dedicat a trobar el millor perfil per a les ales de l'UAV. A partir d'un recull de diferents perfils alars, es realitza una anàlisi que després s'utilitza per implementar els diferents perfils en un model 3D de les ales de l'UAV. Els resultats que s'obtenen d'analitzar les ales serveixen per acabar decidint quin de tots els perfils alars és la millor opció.

**El tercer apartat** està dedicat al hardware de l'UAV. S'introdueix que s'ha fet ja amb l'UAV i s'estudia cap a on es pot dirigir la recerca per millorar la plataforma d'ala fixa. Es planteja una proposta la qual s'estudia, es desenvolupa i es treuen conclusions per valorar si val o no la pena aplicar la proposta.

**El quart apartat** està dedicat a l'autonomia de vol que té l'UAV. Es parteix d'unes bases on l'objectiu és aconseguir més temps de vol. Per fer-ho, es realitza un gran estudi sobre les diferents bateries que hi ha en el mercat, es realitzen càlculs per validar les opcions de manera teòrica i finalment es realitzen proves al camp de vol.

**El cinquè apartat** està dedicat a trobar possibles solucions que permetin una millor comunicació entre l'UAV i l'estació de terra. Es proposa combinar dos tipus d'antenes, una antena de seguiment i una antena direccional. Per falta de temps i canvis en els objectius, en aquest apartat no s'ha pogut profunditzar. La proposta començada a estudiar es troba en una fase molt inicial.

**El sisè apartat** està dedicat al pressupost del projecte. Es té en compte únicament el cost humà del projecte, els desplaçaments i el cost dels materials que s'han hagut d'aconseguir.

**El setè apartat** explica les conclusions a les quals s'ha arribat durant el projecte on es recullen els resultats obtinguts en els apartats anteriors. També es fa una valoració social de l'impacte que tenen aquests tipus de projectes humanitaris i dels objectius i forma amb què es treballa dins l'empresa.

# 1 Introducció a les llagostes del desert i el marc ambiental

## 1.1 Descripció del problema

Les plagues de la llagosta del desert són les més perilloses i destructives de la història, han estat amenaçant els cultius i pastures des de fa 5000 anys. Una gran àrea de desert, d'uns 16 milions de km quadrats, que van des de l'oest d'Àfrica fins a l'Índia, on es troben els alguns dels països més pobres del món, es veuen afectat per aquestes plagues. A causa de la gran capacitat migratòria de les llagostes, les quals poden a travessar milers de km en poques setmanes, es converteixen en una preocupació internacional amb grans implicacions econòmiques, socials i mediambientals.

La vigilància és la primera activitat en qualsevol avís previ de llagostes i sistema de control preventiu. Les llagostes es mouen a àrees on ha plogut recentment i se'n troben en zones de sorra i humides, on hi ha crescut vegetació i no hi ha depredadors naturals. Per això s'utilitzen satèl·lits per localitzar les àrees on plou i de vegetació verda per així donar prioritat a aquestes zones i reduir el gran territori a controlar, però les imatges es troben amb problemes d'omissió i sovint no estan disponibles a temps real. Aquests fets justifica'n la necessitat de donar suport a aquestes eines amb noves tecnologies, és aquí on s'introdueix l'ús dels UAV amb l'objectiu de millorar la qualitat dels serveis i tractament precoç.

L'àrea afectada per les llagostes del desert es divideix en tres regions: La zona oest, la zona central i la zona est. La plaga regional de llagostes del desert del 2003-2005 va requerir operacions de control ajudades tant pels països afectats com per la comunitat internacional que van tractar prop de 13 milions d'hectàrees. El cost de la plaga regional es va estimar en 570 milions de dòlars EUA. Els danys als recursos agricultors i de pastura van variar del 30% al 100%, segons el tipus de cultiu. Més de vuit milions de persones es van veure directament afectades per aquesta crisi.

Això demostra la rellevància i la importància de l'estratègia de control preventiu i la seva aplicació efectiva pels països afectats i els col·laboradors internacionals per tal de minimitzar els costos i les conseqüències econòmiques, socials i ambientals.

### 1.1.1 Estudi de les llagostes del desert

Les llagostes són membres de la família del saltamartí *Acrididae*, que inclou la majoria dels saltamartins de banya curta. Les llagostes difereixen dels saltamartins en el fet que tenen la capacitat de canviar el seu comportament i la seva fisiologia, en particular el seu color i forma (morfologia) en resposta als canvis de densitat.

Les llagostes adultes poden formar eixams formats per milers de milions d'individus i que es comporten com a unitat. La fase de nimfa no voladora pot formar bandes. Una banda és una massa cohesiva de nimfes que persisteix i es mouen com a unitat. Les llagostes del desert no solen volar malgrat tenir ales. Només volen quan s'agrupen en grans grups d'individus i s'alliberen les feromones adequades per activar el comportament migratori i un major creixement de les ales, que les permeten dispersar-se cap a altres territoris. Un eixam de llagostes del desert pot arribar a tenir una mida d'uns 1.200 km quadrats i en menys d'un km quadrat poden haver-hi entre 40 i 80 milions de llagostes. Són animals completament herbívors, una llagosta



pot menjar al dia l'equivalent al seu pes (aproximadament 2 grams), de manera que un eixam d'aquesta mida podria menjar 192 milions de kg de plantes al dia.



Figura 1: Classificació científica de les llagostes del desert.

Les llagostes tenen dues fases diferents: solitària i gregària. Quan hi ha baixa densitat de llagostes, es troben en fase solitària. A mesura que augmenta el nombre de llagostes, s'agrupen en grups densos i es converteixen en gregàries. La transició de la fase solitària a la gregària i viceversa s'anomena fase transitòria. Si el nombre de llagostes augmenta, se les coneix com a congregants i, si estan disminuint, se les anomena dissociants. La coloració general és variable; en la seva fase solitària és marró, groguenc i de vegades verdós. En la seva fase gregària són de color rosa, tornant-se grogues quan arriben a la maduresa sexual i si troben les condicions adequades per a la seva reproducció.

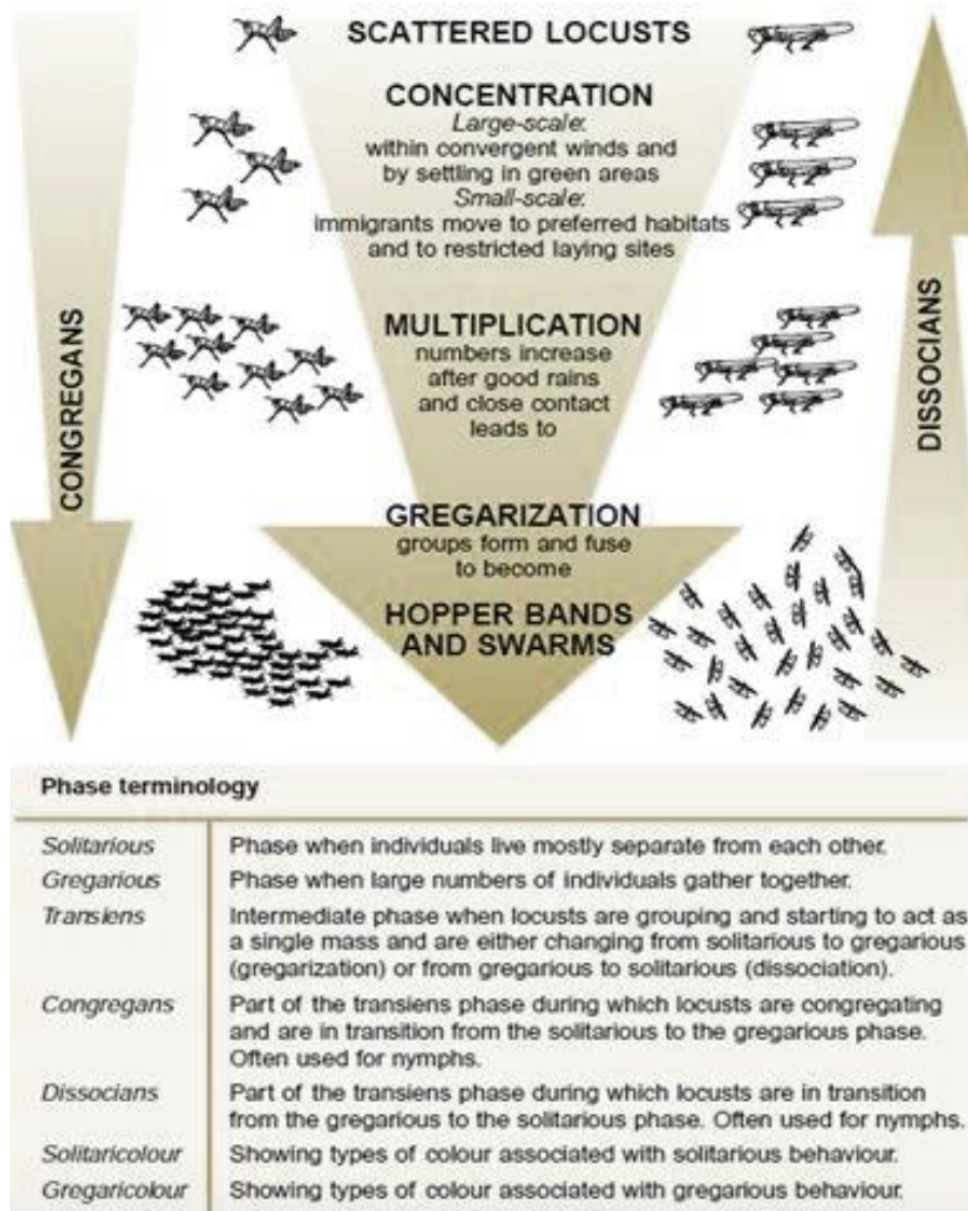


Figura 2: Fases de les llagostes del desert.

Els canvis de comportament poden ser ràpids. Per exemple, les llagostes del desert que s'han criat de manera aïllada al laboratori, intenten evitar-se mútuament quan es posen en una gàbia, però en intentar evitar una llagosta, entren en contacte amb una altra. Ser tocats per altres, provoca que les llagostes siguin atretes, de manera que formen grups. Aquest canvi de repulsió (l'estat solitari) a l'atracció (l'estat gregari) només triga una hora més o menys. Si es torna a aïllar els insectes afectats, tornen a comportar-se com a solitàries. Com més temps es mantenen en multitud abans de ser aïllades, més lentament serà la reversió a l'estat solitari. Poden tardar generacions a completar la transició de comportament gregari al solitari. Les femelles poden influir en la fase de la seva descendència afegint un químic gargaritzant a l'escuma de l'ou si recentment han experimentat l'aglomeració. En llibertat, pot portar diverses generacions abans que es produeixi l'aglomeració i les solitàries es comportin de manera totalment gregària. Això

es veu sovint durant els rums quan les bandes i els eixams es fan cada vegada més grans i cohesionats.

Els canvis morfològics (canvis de color i de forma) necessiten més temps. El color gregari complet necessita una generació completament gregària i la forma necessita dos o més dies. Les diferents taxes de color i canvi de forma associada als canvis de fase solen causar confusió. Per exemple, és possible trobar eixams de llagostes, per tant gregàries, del color de les solitàries. En aquestes directrius, els termes gregari i solitari es refereixen al comportament, s'utilitza *gregaricolor* (i *solitaricolor*) per indicar la coloració, i el *gregariforma* (i *solitariforma*) per indicar la forma.

El canvi del color i forma de la llagosta es produeix després del canvi de comportament. El color i la forma són un indicant de com s'han comportat les llagostes del desert, però no indiquen com es comportaran les llagostes en el futur. Per tant, el comportament és la millor i més útil característica de la fase a utilitzar en el treball de control de la llagosta.

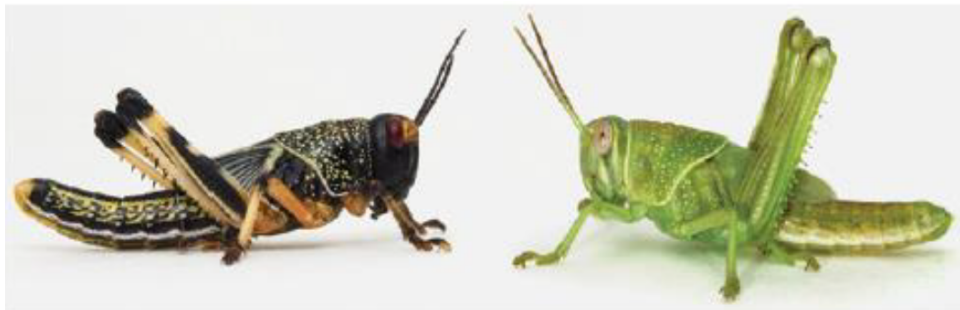


Figura 3: Diferències de color de les llagostes en l'eixam (esquerra) i solitàries (dreta).

### 1.1.2 Àrees afectades

Durant els períodes tranquils (coneguts com a recessions), les llagostes del desert es limiten generalment als deserts semiàrids i àrids d'Àfrica, el Pròxim Orient i el sud-oest d'Àsia, on reben menys de 200 mm<sup>2</sup> de pluja anualment. Es tracta d'una àrea d'uns 16 milions de quilòmetres quadrats, formada per uns 30 països.

Durant les plagues, les llagostes del desert poden estendre's a una àrea enorme d'uns 29 milions de quilòmetres quadrats, que s'estenen fins a 60 països. Això supera el 20% de la superfície terrestre total del món.



Figura 4: Països afectats.

Les llagostes del desert solen volar a una velocitat d'aproximadament 16-19 km/h segons el vent. Els eixams poden recórrer uns 130 km o més en un dia. Les llagostes poden romandre a l'aire durant llargs períodes de temps. Per exemple, les llagostes creuen regularment el Mar Roig, una distància de 300 km. En el passat, hi va haver algunes migracions espectaculars i de gran abundància i abast, per exemple, de l'Àfrica del Nord-oest a les Illes Britàniques el 1954 i de l'Àfrica occidental al Carib, una distància de 5.000 km en uns deu dies el 1988.

No hi ha evidència que les plagues de la llagosta del desert es puguin produir després d'un nombre determinat d'anys. Les plagues es desenvolupen de manera intermitent. Per tant, la manca de previsibilitat, a causa de les infestacions irregulars de les plagues de la llagosta, és un altre problema a tenir en compte.

### 1.1.3 Problema actual i rol de la FAO

Hi ha moltes raons per les quals és difícil combatre amb èxit la llagosta del desert. Algunes d'aquestes són:

- L'àrea extremadament gran (16-30 milions de quilòmetres quadrats) dins de la qual es poden trobar llagostes.
- La distància i el difícil accés a aquestes àrees.
- La falta de seguretat (com ara les mines terrestres) en algunes zones.
- Els recursos limitats per a la vigilància i el control de la llagosta en alguns dels països afectats.
- La infraestructura bàsica subdesenvolupada (carreteres, comunicacions, aigua i alimentació) a molts països.

- La dificultat del manteniment de persones qualificades i dels recursos durant els llargs períodes de recessió on hi ha poques o cap llagosta.
- Les relacions polítiques entre els països afectats.

Per fer front a aquests problemes, es va fundar la FAO, l'Organització de les Nacions Unides (ONU) per l'Alimentació i l'Agricultura, *Food and Agriculture Organization* el 1945. Aquest organisme es fa càrrec principalment d'activitats internacionals amb l'objectiu d'erradicar la fam al món. Un dels deures és proporcionar informació sobre la situació general de la llagosta a tots els països interessats i donar avisos i previsions oportunes a aquests que es troben en perill d'invasió.

Per tant, la FAO fa un servei centralitzat d'informació sobre llagosta del desert a la seva seu a Roma, Itàlia. Tots els països afectats per la llagosta transmeten dades a la FAO que, a la vegada, analitza aquesta informació juntament amb dades del clima, de l'hàbitat i de les imatges de satèl·lit per avaluar la situació actual de la llagosta. Proporciona previsions de fins a sis setmanes d'antelació i emet avisos ad-hoc base. La FAO prepara butlletins mensuals i actualitzacions periòdiques que resumeixen la situació de la llagosta i pronostiquen la migració i la reproducció en cada país. Es distribueixen per correu electrònic, fax i publicacions. Tota la informació de la llagosta està arxivada a la seu de la FAO i part d'aquest està disponible a Internet.

La FAO ha establert tres comissions regionals de la llagosta per implementar el control preventiu d'aquesta: *the Commission for Controlling the Desert Locust in the Western Region (CLCPRO)*, *the Commission for Controlling the Desert Locust in the Central Region (CRC)*, and *the Commission for Controlling the Desert Locust in Southwest Asia (SWAC)*. Les tres comissions ofereixen suport tècnic i financer per implementar una estratègia de control preventiu que es basa a enfortir les capacitats nacionals en el seguiment, el control, la planificació i la seguretat. Cada comissió treballa en estreta col·laboració amb els seus països membres i el Servei d'Informació de la Llagosta del Desert (DLIS) de la FAO, que fa un seguiment de la situació global i proporciona una primera alerta. D'aquesta manera, els països tenen més capacitat per dur a terme una resposta de control ràpida i eficaç.

## 1.2 Estat de l'art

Un cop analitzat el problema a afrontar, cal veure les diferents solucions que s'han proposat i els recursos que s'estan utilitzant el dia d'avui. És molt important considerar el mètode actual per crear una nova metodologia tan eficient i realista com sigui possible.

Les metodologies i les eines utilitzades en un principi eren insuficients per determinar amb precisió l'escala d'un "problema de llagosta del desert" que pot requerir prevenció i control. Sense saber que tan gran és el problema, és molt difícil tractar-lo d'una manera sensata i eficaç. Amb massa freqüència, els equips de camp es detenen i controlen la primera banda de tremuja de llagostes del desert, sense tenir cap idea de la magnitud del problema. La prevenció és la base de la solució.

L'objectiu general del control preventiu és reduir el risc i l'impacte de les invasions de llagosta del desert i així contribuir a la lluita contra la fam i la pobresa mentre es té cura també del medi ambient. Per aconseguir aquest objectiu, l'estratègia de control preventiu es basa en tres pilars ja comentats:

- Alerta ràpida mitjançant la millora de les capacitats de seguiment i predicció que utilitzen les últimes tecnologies per delimitar i prioritzar les àrees de recerca, garantir la recollida i la transmissió fiable de dades en temps real i proporcionar alertes puntuals i precises.
- Una resposta ràpida, implementada per una unitat nacional de control de llagostes ben entrenada, ben equipada i ben finançada que utilitza planificacions de contingència i metodologies estàndard per a operacions de control efectives, oportunes i segures.
- Investigació operativa per abordar les dificultats operacionals que apareixen als responsables de buscar i controlar la llagosta sobre el terreny i altres reptes d'aplicació de l'estratègia de control preventiu.

Centrant-se ara en l'UAV, objectiu principal d'aquest treball de final de grau, és de vital importància saber que s'ha fet fins al moment, per què s'ha fet i com s'ha fet. Per poder plantejar el punt de partida, es parla dels dos viatges ja realitzats a Mauritània i a Oman per així poder veure l'evolució del drone, els avenços i els problemes trobats.

### 1.2.1 Viatge a Mauritània

La primera prova de camp en condicions reals d'aquest projecte que es dugués a terme en un hàbitat típic de les llagostes del desert en un país afectat va ser entre el cinc i l'onze de març del 2018, al nord-oest de Mauritània, a prop de Bennichab, a la regió d'Inchiri, a uns 200 km de la capital, Nouakhott.

Per a aquest viatge, HEMAV Foundation va disposar dels seus experts i representats millors preparats per intentar que aquesta primera prova de camp fos realment un èxit.





Figura 5: Membres d'HEMAV Foundation en una sessió de planificació tàctica amb les forces aèries de Mauritània.

Un cop en el desert, es van obtenir importants aprenentatges sobre les operacions de l'UAV en les dures condicions del desert. Es van provar diferents UAVs amb diversos sensors i es va poder obtenir informació de primera mà dels oficials de les plagues de llagostes del desert que havien anat recollint diàriament.

Dues grans fites van sorgir a partir de les proves de camp:

- La confirmació de la capacitat del sistema per realitzar vols de llarga durada (32 km de transsecte o 64 km de vol). Es van voler realitzar aquest tipus de vols perquè eren la millor opció per l'objectiu que es tenia. Al fer molts km de transsecte perpendicularment a la posició de les dunes, es podien observar les zones entre aquestes les quals són les més importants. Els espais que hi ha entre les dunes són les zones on hi ha més humitat, i quan plou, és on és més propens a aparèixer vegetació.

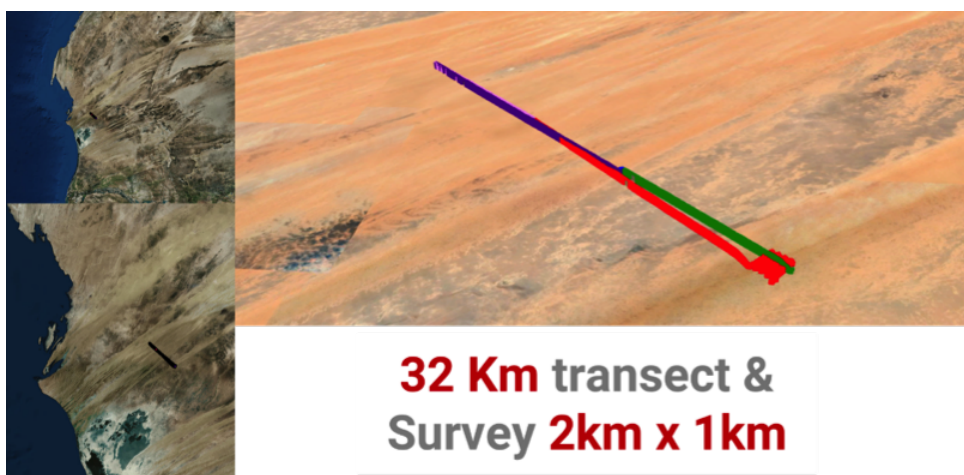


Figura 6: Vol de llarg abast a Mauritània.

- Un codi per representar la informació obtinguda pel personal de camp. El repte que hi havia era com fer la intel·ligència artificial aplicable per a la vegetació i la ràpida prevenció de la llagosta d'una manera pràctica i fàcil d'entendre. El problema va ser resolt codificant els resultats obtinguts utilitzant els colors dels semàfors per fer els resultats més visuals. Les zones que apareixien en vermell, es consideraven punts d'interès, és a dir, punts on es trobava vegetació on podia haver-hi llagostes.

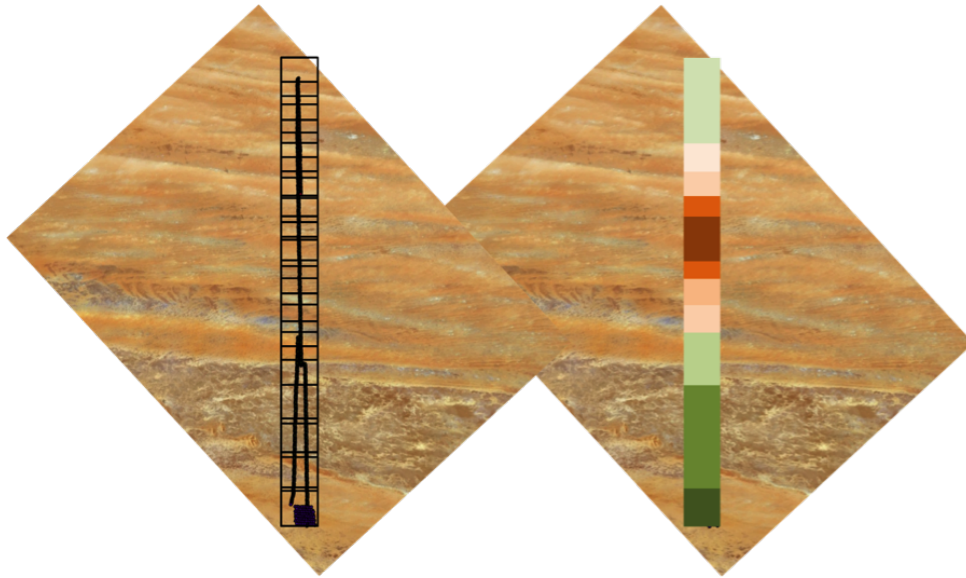


Figura 7: Vol de 32 km de transsecte amb imatge del terra (esquerra) i imatge amb codi de colors després de processar les dades (dreta).

Un cop acabat el viatge es va acordar seguir millorant i desenvolupant els sistemes de manera que a principis del 2019 es pogués realitzar un altre viatge a un lloc on fos probable trobar vegetació verda i llagostes del desert.

Aquest viatge a Mauritània va servir també per veure la diferència que hi havia entre els sistemes que es volien utilitzar i les condicions mínimes operatives necessàries per poder garantir una ràpida i preventiva alerta de les plagues de llagosta del desert.

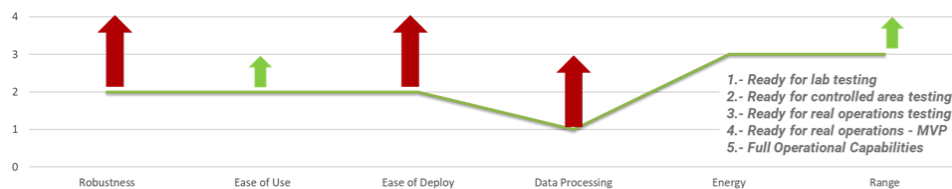


Figura 8: Evaluació dels sistemes després del viatge a Mauritània.

S'identifiquen sis pilars comuns per seguir madurant el projecte: robustesa, facilitat d'ús, facilitat per desplegar el muntatge, processador de dades, energia i abast. La figura 8 mostra l'estat de cada pilar després del viatge a Mauritània.



La robustesa, la facilitat de desplegar i el processador de dades es van fixar com a àrees d'alta prioritats. La facilitat d'utilització, l'abast de vol i l'energia de les bateries va quedar en segon pla.

### 1.2.2 Evolució 2018-2019

Entre març del 2018 i gener del 2019 es realitzen grans esforços per a fer l'UAV més robust. Seguint aquesta línia, s'implementa al projecte la tecnologia i avanços que ja s'estaven utilitzant dins l'empresa HEMAV però en altres projectes d'arreu del món.

Com ja s'ha comentat, els esforços es van centrar en:

#### 1. Robustes i desplegament senzill.

El primer problema important era la durabilitat de les plataformes. Com es va comprovar al desert, els UAVs operen en condicions extremes de temperatura i sorra.

La sorra, en ser tan fina, és un problema pels UAVs. Els enginyers d'HEMAV Foundation van haver d'estudiar aquest fet i preparar l'UAV per fer-lo resistent a les filtracions de sorra als aparells electrònics.

Per culpa de les dures condicions del desert, els UAVs, en estar sotmesos a llargues jornades de treball, va ser necessari reforçar parts del buc per allargar la seva vida i fer-los resistents als impactes dels aterratges.

Un altre punt crític era l'ús de la catapulta per llençar l'UAVe, es va haver de trobar una altra solució.

Solucions principals:

#### (a) Sistema d'enlairament.

Es passa a utilitzar un bungee, figura 9, en lloc d'una catapulta. La catapulta és un mecanisme pesat, complicat de transportar i muntar. Al mateix temps, té també un cost elevat de manteniment i reparació.

Per l'altre costat, el nou sistema està basat en un bungee. Una goma elàstica de gran resistència lligada a una plataforma metàl·lica que s'adapta a qualsevol terreny. És més versàtil, robust, fàcil i ràpid de muntar.



Figura 9: Nou sistema d'enlairament.

(b) Protecció dels servos.

La part electrònica dels alerons és un punt crític en el moment en què l'UAV impacta amb el terra. Els protectors utilitzats es mouen juntament amb els alerons i els protegeixen a l'hora d'aterrar i de la sorra, fent la vida útil d'aquests més llarga.

Més endavant es passa a utilitzar els servos per dintre de l'escuma, per així no quedar exposats a l'exterior i estar encara més protegits.



Figura 10: Protectors dels servos.

(c) Hèlix plegable.

S'implementa un sistema per protegir l'hèlix durant l'aterratge de l'UAV d'ala fixa i l'amortiment del muntatge del motor.

La força centrífuga fa que les pales de l'hèlix s'estirin i compleixin amb la seva funció de donar empenta. Quan el motor s'apaga i la força centrífuga desapareix, les pales tornen a la seva posició original, figura 11. Aquesta posició de les pales és perfecte per a l'impacte amb el terra, ja que no exposa les pales de l'hèlix.

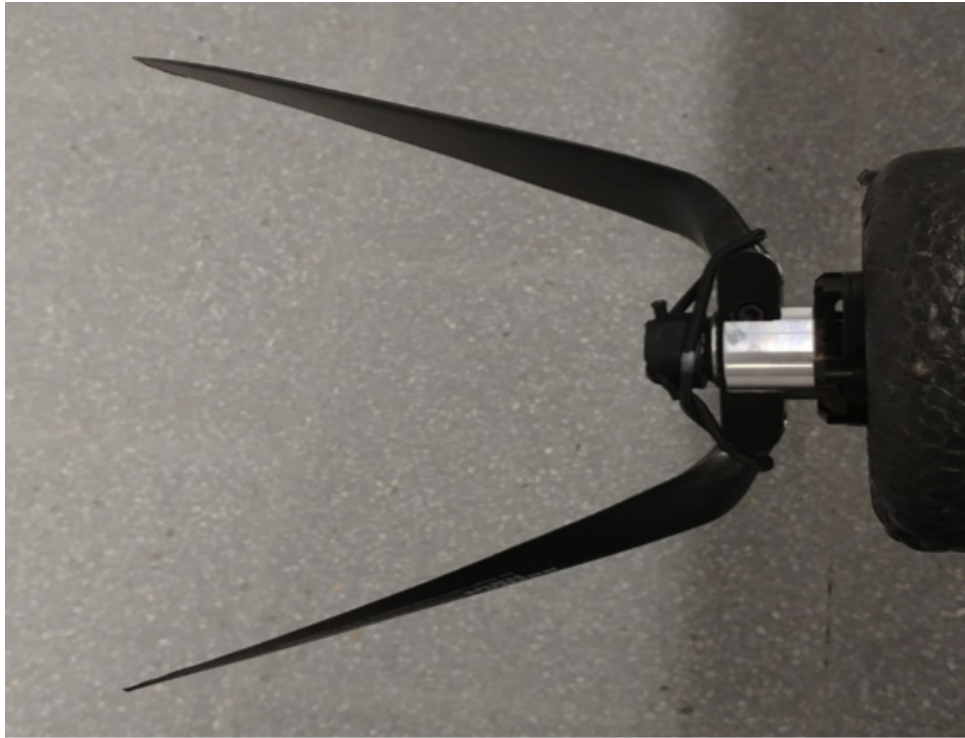


Figura 11: Hèlix plegable.

2. Facilitat d'ús i comunicació.

La facilitat per utilitzar el sistema i la comunicació i transferència de dades són claus pel projecte. Per aquesta raó, les millores utilitzades en un altre projecte, HEMAV Agriculture, van ser proposades per utilitzar en la interfície pel seguiment i control de vol, així com els seus protocols de seguretat.

Aquesta nova interfície, *HEMAV Planner*, figura 12, és més intuïtiva i automatitzada, però no prou per ser utilitzada en els vols en el desert.

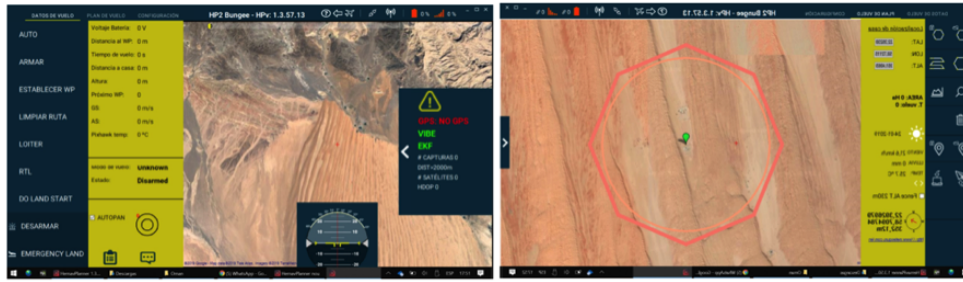


Figura 12: HEMAV Planner.

També s'ha desenvolupat millores i l'automatització del protocol de seguretat d'aquesta nova interfície. Eliminant els comandaments que no eren necessaris s'aconsegueix una millor interacció entre usuari i maquina.

Finalment s'optimitza la telemetria, s'ajusta la potència de la telemetria i es troba una posició òptima per a les antenes.

### 3. Processament de dades.

L'algoritme té l'objectiu de realitzar una classificació ràpida i efectiva on es diferenciï la vegetació verda de la vegetació morta o un altre tipus de terreny, és a dir, de geolocalitzar les àrees propenses a ser origen de les plagues de llagostes.

Es passa a utilitzar un software millor que el de colors utilitzat a Mauritània explicat anteriorment, ja que es requeria molta més precisió.

S'utilitza, aleshores, el llenguatge Python, ja que és fàcil d'adaptar a altres llenguatges i és acceptat pel sistema operatiu.

Pel que fa al codi de l'algoritme, només direm que s'ha dissenyat tenint en compte les circumstàncies en què ha de treballar:

- Ha de ser capaç de funcionar al desert sense connexió a internet.
- El temps de processat ha de ser prou lent per a poder analitzar les imatges de l'actuació en el mateix lloc i durant el mateix dia de vol.

#### 1.2.3 Viatge a Oman

Al gener d'aquest 2019 es va realitzar l'últim viatge. Aquest viatge va ser a Oman i tenia objectius diversos. Primer de tot, es van voler validar els diversos desenvolupaments que s'havien fet fins al moment, al mateix temps, aprendre sobre el nou entorn on es volaria i recollir el màxim d'informació. Per últim, plantejar les estratègies sobre el futur del projecte.

L'objectiu d'aquest segon viatge era trobar una zona on hi hagués vegetació verda i per tant, poder trobar llagostes. D'aquesta manera provar totes les millores que s'havien realitzat fins al moment. Però per culpa la falta de pluges en els mesos anteriors, això va ser impossible i la

missió es va centrar a validar la resta d'objectius fixats que encara es podien avaluar:

- En haver-hi grans dunes, era perfecte per provar els sistemes en un medi complex amb obstacles en les comunicacions.
- Àrees de difícil accés i aïllades perfectes per provar els UAVs de llarg abast.
- Àrees de vegetació aïllada que permeten una simulació real de recerca de vegetació.
- Zones de vegetació seca i vegetació verda necessàries per validar el sistema d'adquisició de dades i millorar l'algoritme.

El viatge a Oman va durar una setmana (contant el dia d'arribada a Oman i el dia que es torna), es van fer operacions de vol durant tres dies consecutius. Cada dia es van realitzar 4 vols de diferent durada amb diferents objectius provant també diferents UAVs.

L'explicació d'aquestes operacions s'escapa dels objectius d'aquest projecte, si és d'interès, consulteu l'**Annex 1**.

D'aquest viatge a Oman, es van extreure resultats i conclusions d'interès. Primer de tot cal dir que gràcies a l'optimització dels processos a realitzar abans de volar, com el muntatge del sistema de llançament, haver estudiat els ajustos en la potència i la direcció de les antenes, van permetre guanyar molt de temps.

Molts dels punts més rellevants es presenten en comparació amb els resultats obtinguts en el viatge a Mauritània, per fer-ho d'aquesta manera més visual, figura 13.

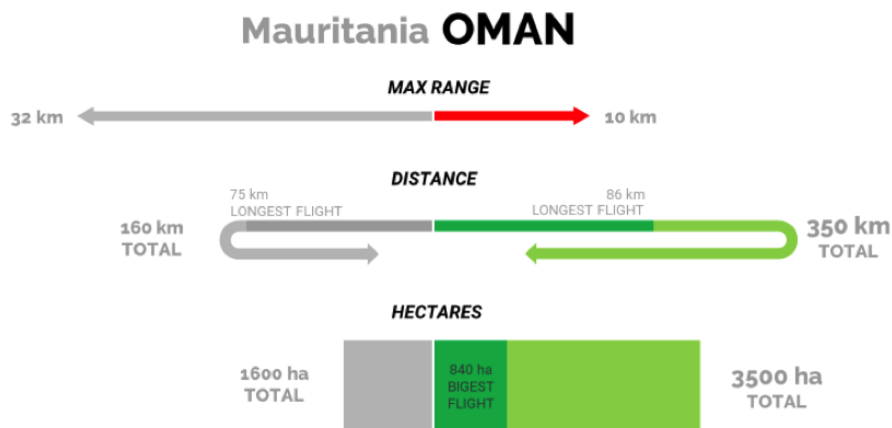


Figura 13: Comparació entre les proves de camp a Mauritània i a Oman.

Cal remarcar que l'abast màxim no ha disminuït, simplement ja se sabia quin era aquest abast i posar-lo a prova no era un dels objectius. Els esforços estaven centrats a provar nous patrons de vol que permetessin obtenir millors resultats en terrenys desfavorables amb dunes pronunciades i àrees amb paisatge i vegetació diversa.

El nombre de vols de llarg abast al dia s'ha doblat, s'ha passat de dos a quatre vols. S'observa també en la figura 13 que tant la distància recorreguda com les hectàrees sobrevolades han augmentat considerablement.

Com ja s'ha comentat en apartats anteriors, la maduresa d'aquest projecte es basa en sis pilars. Ara es presenta la seva situació després de tots els avenços i aprenentatges realitzats en les proves de camp a Oman:

- Facilitat d'ús.

Les operacions de vol, però específicament el monitoratge i planificació de vol, es duen a terme amb un sistema que no garanteix que sigui completament útil per ser utilitzat al moment, durant les operacions. Les dades processades no poden ser vistes, aplicades i utilitzades pels encarregats i oficials sense aparells o habilitats addicionals.

- Processador de dades.

S'ha d'implementar i provar la caracterització de dades i l'ordinador de bord. Un cop s'aconsegueixi que tot el sistema estigui en el nivell 4, figura 14, del sistema, es començarà a treballar i estudiar en el processament de les dades.

- Robustesa.

S'han trobat possibles millores a realitzar per a les operacions al desert, com ara la configuració del motor pel problema que hi ha amb l'entrada de sorra magnètica del desert al motor o als altres aparells electrònics. La configuració del pitot es considera adequada per la falta de nivell de precisió submètrica en navegació i facilitarà el manteniment i la configuració.

Al mateix temps es va posar a prova el nou model d'UAV, dissenyat expressament per aquestes operacions al desert, el drone d'ala fixa HP2. Una segona versió dissenyada a partir de l'UAV utilitzat a Mauritània.

En els apartats següents d'aquest projecte, es veurà més informació sobre aquest.

- Facilitat de desplegament.

L'ús del bungee en lloc de la catapulta ha estat una gran millora, encara que es poden fer millores de cara l'ús d'aquest en el desert. Altres millores a tenir en compte són la possibilitat de traslladar el drone ja muntat (no en tres peses com ara) i estudis en la línia d'un mètode ràpid d'intercanvi de bateries.

- Energia.

Portant el nombre correcte de bateries, l'energia no hauria de ser un problema. Tot i això, per missions d'una setmana sense accés a punts de càrrega, l'opció de carregar-les al cotxe no és del tot adequada.

- Abast.

S'han realitzat vols de més de 85 km. Així i tot, per motius de seguretat, l'àrea de cobertura de telemetria dels vols, no es va realitzar a Oman. S'ha vist que aquesta limitació no és necessària i podria ser substituïda pel *SATCOM beacon (Drone Watch)*. Un sistema el qual envia la posició de l'UAV cada x temps via satèl·lit. El Drone Watch, a part de permetre saber la posició de l'UAV en tot moment, serveix també, per saber que està fent aquest, d'aquesta manera assegurar que l'UAV s'està utilitzant per a l'ús pel qual s'ha fabricat.

A continuació, en la figura 14, s'observa el salt qualitatiu que ha experimentat cada apartat a estudiar, entre els dos viatges.

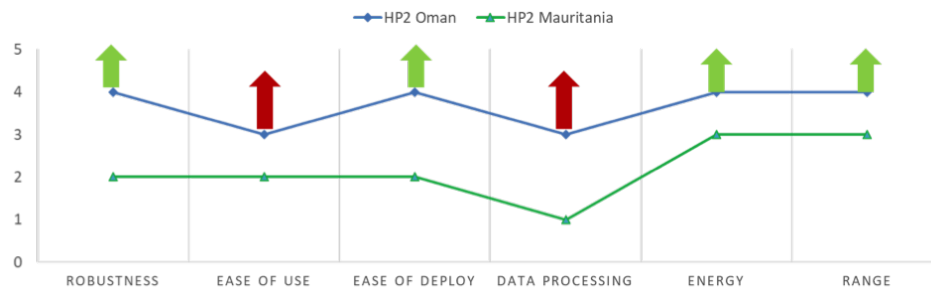


Figura 14: Estat del desenvolupament i millores. Comparació entre les proves de camp de Mauritània i Oman.

### 1.3 Objectius principals

Després d'haver realitzat l'estudi de les metodologies que s'han aplicat des de l'inici del projecte fins a l'actualitat, és fàcil d'observar, com a tot projecte ambiciós, que encara hi ha molt camí per recórrer.

Un aspecte molt important sobre el projecte *Desert Locust* és que les solucions proposades i implementades han de ser el més simple possible. Això és degut al fet que l'objectiu del projecte és dissenyar un UAV, i tot l'equipament que porta darrere, el qual sigui capaç de ser utilitzat per una persona autòctona del país, no per un tècnic especialista. Moltes d'aquestes persones no han pogut estudiar i són analfabetes, per aquest motiu tot ha de ser molt simple i senzill.

El que es vol és deixar tot l'equip als governs afectats i que ells organitzin les partides de control i prevenció de les llagostes del desert amb col·laboració amb la FAO.

L'objectiu d'aquest projecte està centrat en l'UAV i en com fer-lo més capaç per a poder realitzar les seves funcions de manera més òptima. Les tasques i objectius d'aquest projecte es poden dividir en dos grans grups:

- Primer de tot realitzar una anàlisi teòrica sobre com millorar l'aerodinàmica de l'UAV. Per fer això es fa un estudi on s'analitzen diferents perfils alars per veure amb quin es poden obtenir millors resultats. Aconseguir millores en aquest punt pot significar un augment d'autonomia i de rang.
- Per un altre costat, realitzar diferents estudis en l'UAV que ja es té implementat, per intentar aconseguir diferents objectius. Aquests estudis i propostes poden ser completament complementaris al punt anterior:
  - Estudiar si es pot fer l'UAV més "antidesert". Estudiar com reforçar l'estructura i com donar-li la robustesa necessària com per poder operar durant llargs períodes de temps en el desert en condicions extremes com ara la intensa calor que afecta els aparells electrònics.
  - Treballar l'autonomia de l'UAV, buscar el mètode per aconseguir més temps de vol amb el mateix UAV. Augmentar l'autonomia, al mateix temps, permet augmentar el rang.
  - Proposta per integrar les comunicacions entre l'UAV i l'estació de control de terra. L'objectiu és proposar com augmentar la cobertura i el rang per poder realitzar vols de llarga distància sense perdre el senyal de l'UAV.



## 2 Estudi dels perfils alars.

En aquest apartat l'objectiu és millorar el rendiment de l'UAV, per aquest motiu el que es vol és aconseguir un millor vol. Es proposen diferents perfils alars ja existents per veure quin d'aquests és la millor opció per al nostre UAV. Aquests perfils se simularan amb el programa XFLR5 per obtenir les diferents corbes representatives ( $Cl$ - $Cd$ ,  $Cl$ - $\alpha$ , etc).

Tot seguit, amb aquests perfils es modelaran les ales del UAV per tornar-les a simular amb el mateix programa i així obtenir resultats més propers a la realitat. Finalment, un cop interpretats els resultats obtinguts, es decideix la millor opció.

### 2.1 Introducció.

Per realitzar l'estudi sobre els perfils alars, s'utilitza el software XFLR5. El XFLR5 és un programa d'estudi aerodinàmic que permet utilitzar el mètode de panells computacionals.

El mètode de panells és un mètode de resolució de l'equació de Prandtl-Glauert per a fluxos lineals, no viscosos i irrotacionals, tant supersònics com subsònics. L'equació de Prandtl-Glauert s'obté d'una de les derivades més generals de l'equació de Navier-Stokes, tenint en compte que no es considera la transferència de calor ni els efectes de la viscositat, l'equació de Prandtl-Glauert és la forma més simple de descriure un fluid.

Per fluxos subsònics constants, l'equació queda definida com:

$$\tilde{\nabla}^2 \phi = (1 - M_\infty^2) \phi_{xx} + \phi_{yy} + \phi_{zz} = 0$$

Per fluxos supersònics:

$$-\tilde{\nabla}^2 \phi = (M_\infty^2 - 1) \phi_{xx} - \phi_{yy} - \phi_{zz} = 0$$

El mètode de panells es basa en la superposició de distribucions de tres tipus de solucions analítiques (*source*, *doublet*, *vorticity*), sobre la superfície que es vol estudiar, la qual està dividida en petites "superfícies" quadrilàteres (panells). La distribució resultant d'aquestes superposicions compleix automàticament l'equació de Prandtl-Glauert.

Quan hi ha separacions de la capa límit, xocs transsònics o es vol estimar la resistència del fregament, aquest mètode no és una bona solució. Però per l'estudi que es vol realitzar en aquest projecte, on l'UAV vola a velocitats de creuer baixes, aquest mètode és suficientment precís.

## 2.2 Perfils alars.

Es realitza una primera selecció de sis perfils NACA diferents, aquests perfils estan entre els més utilitzats en els UAV que volen a velocitats baixes, igual al cas que es vol estudiar. L'UAV utilitzat fins al moment no consta de cap perfil alar, s'utilitza el perfil CLARK-Y, utilitzat en un altre tipus d'UAV molt semblant, com a referència. Al mateix temps serveix també per comprovar si aquest perfil pot ser una altra opció vàlida.

Abans de res, es defineixen una sèrie de paràmetres característics de l'UAV i de les missions:

- Velocitat de creuer: 17 m/s
- Corda en l'arrel: 40 cm
- Corda en la punta: 22 cm
- Densitat de l'aire: 1,225 kg/m<sup>3</sup>
- Viscositat dinàmica de l'aire: 1,7404 kg/m·s

Amb aquestes dades es pot calcular el nombre de Reynolds màxim. El nombre de Reynolds és un paràmetre adimensional que relaciona la magnitud de les variables inercials d'un fluid amb les forces viscoses presents en aquest. Es defineix com:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot c}{\mu}$$

On  $\rho$  és la densitat de l'aire que es considera constant, ja que no hi ha efectes de compressibilitat en volar a velocitats baixes,  $v$  és la velocitat a la qual vola l'UAV,  $c$  és la corda màxima d'aquest i  $\mu$  la viscositat dinàmica de l'aire. Amb aquestes dades s'obté un Reynolds de  $Re = 478.637$ . També es calcula el Reynolds amb la corda mínima, ja que ens serà d'utilitat a continuació,  $Re = 263.251$ .

Es presenten abans de començar les simulacions els diferents perfils que es tindran en compte. Com s'ha dit abans, aquests perfils tenen un bon rendiment a velocitats baixes, buscant sempre una relació sustentació/resistència alta. Els perfils a estudiar són els següents: NACA 2411, NACA 2415, NACA 4412, NACA 4415, NACA 6409, NACA 6412 i CLARK Y.

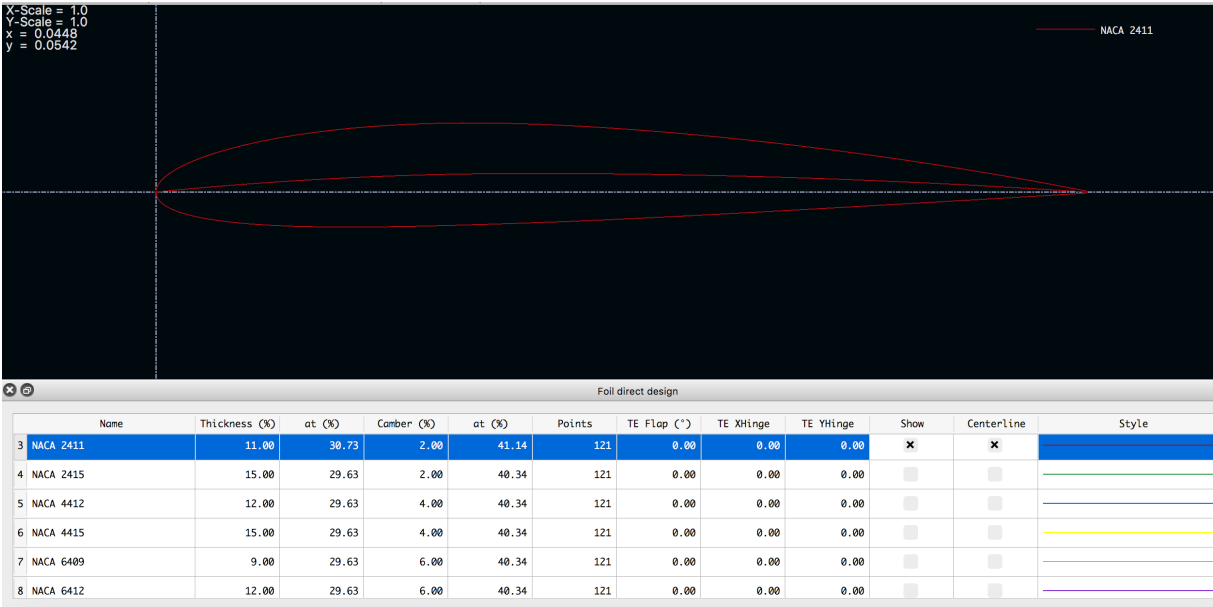


Figura 15: Perfil NACA 2411.

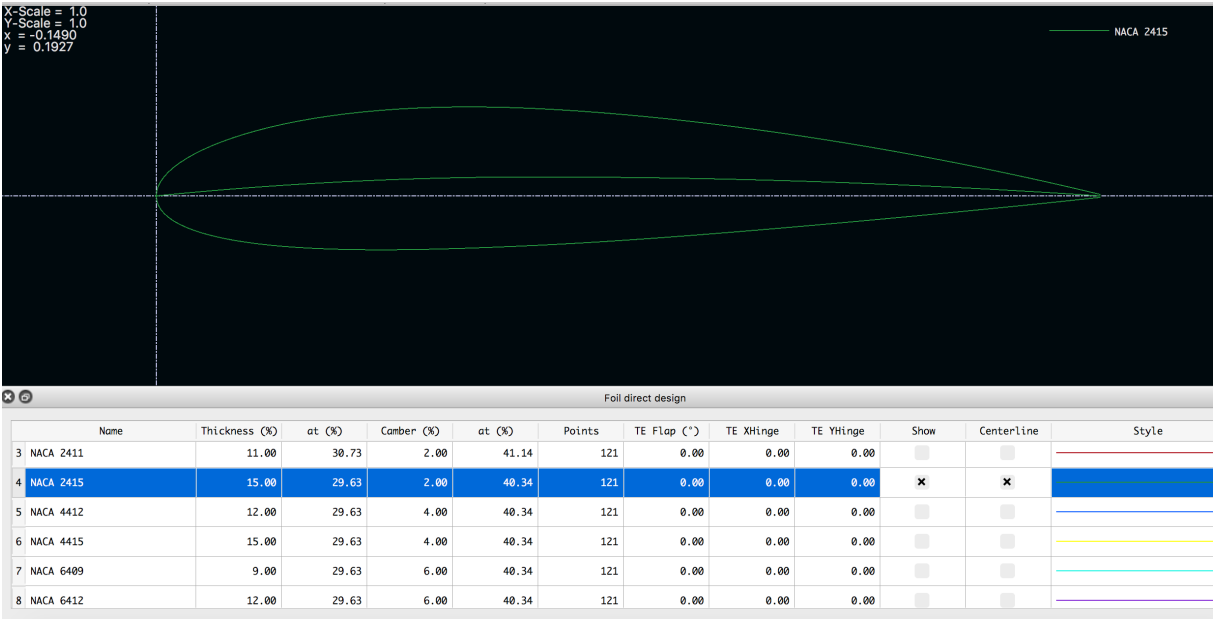


Figura 16: Perfil NACA 2415.

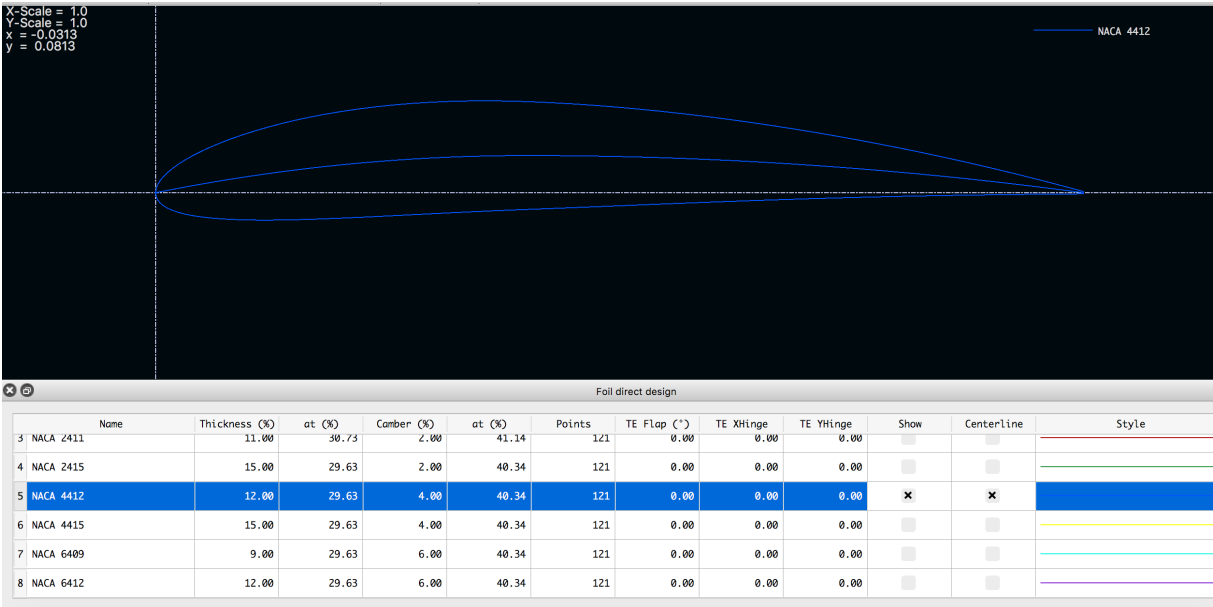


Figura 17: Perfil NACA 4412.

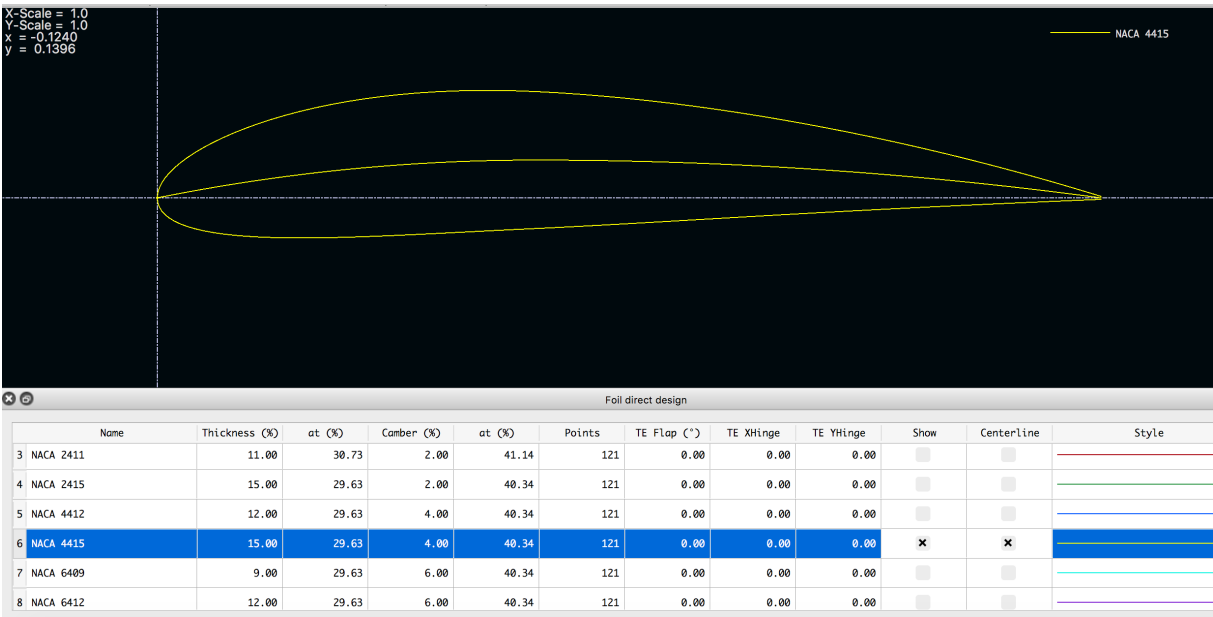


Figura 18: Perfil NACA 4415.

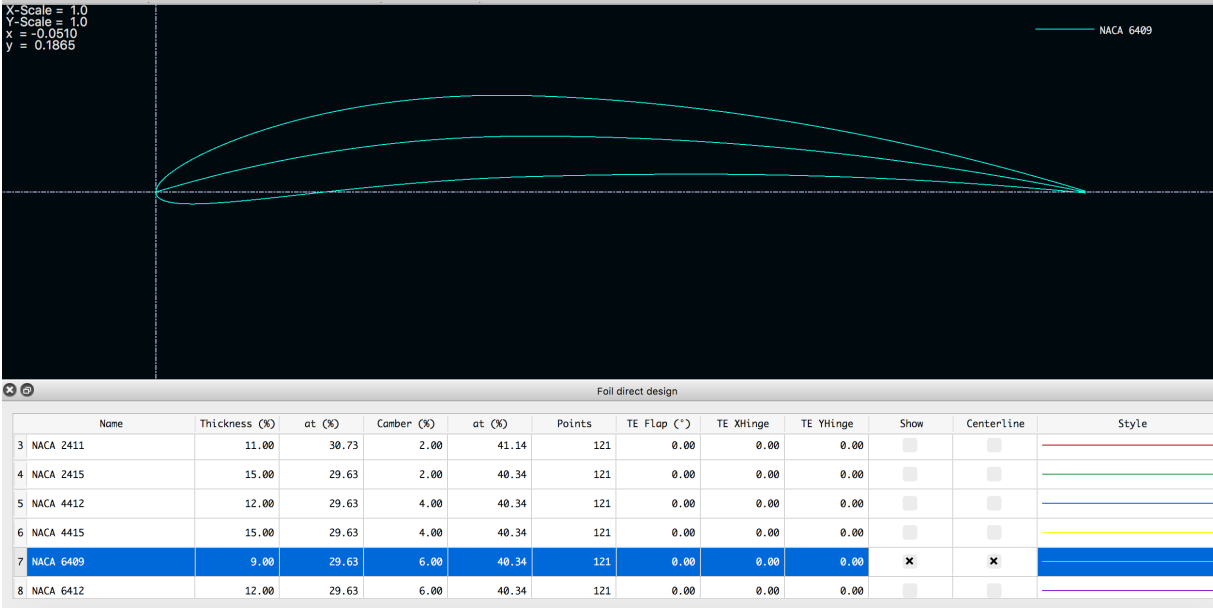


Figura 19: Perfil NACA 6409.

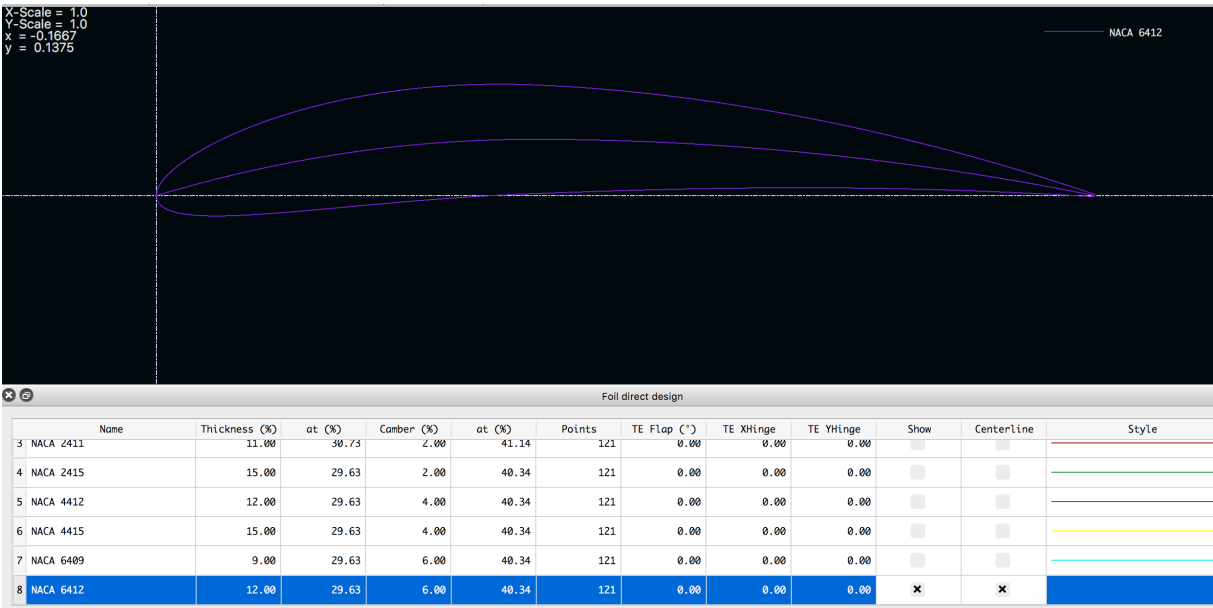


Figura 20: Perfil NACA 6412.

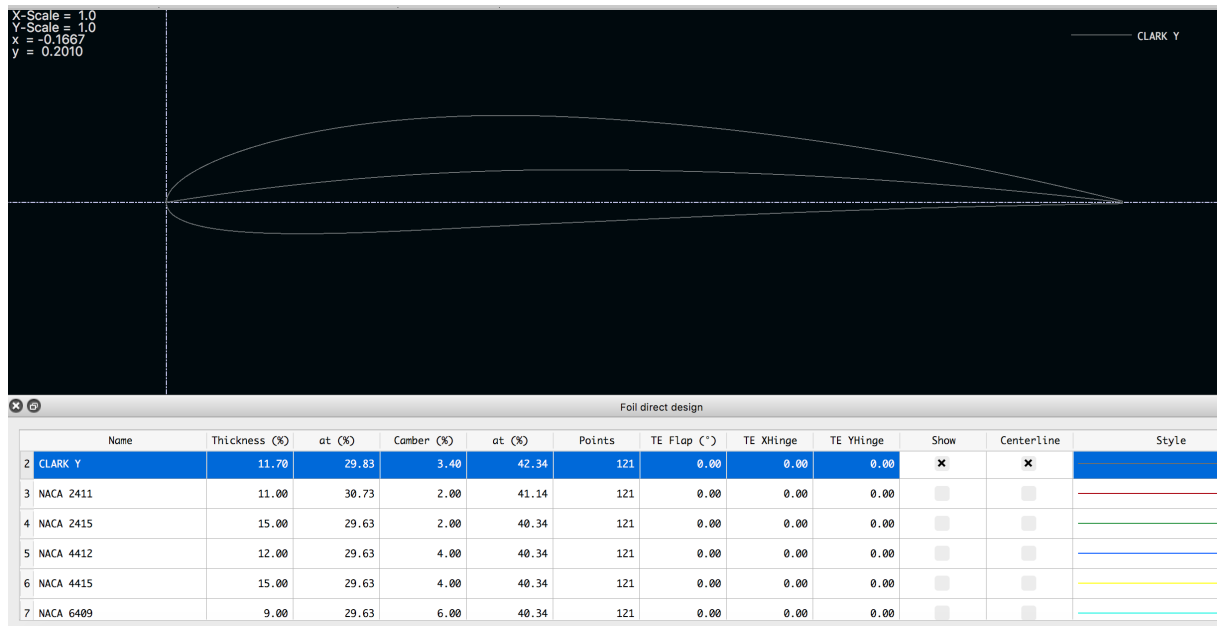


Figura 21: Perfil CLARK Y.

Un cop presentats els diferents perfils a estudiar, es comença amb la simulació d'aquests.

### 2.2.1 Anàlisi dels perfils alars.

Amb l'ajut del software XFLR5 es realitza la simulació dels perfils vistos anteriorment. Es fa una anàlisi de diferents angles d'atac per a una successió de Reynolds. Com que el Reynolds màxim que s'obté és de  $Re = 478.637$  i el mínim és de  $Re = 263.251$ , es realitza l'anàlisi d'una successió de Reynolds que compregui aquests dos valors.

Es comença amb un Reynolds de 100.000 fins a un Reynolds de 500.000 amb intervals de 2.000. Per a cada Reynolds s'analitza un ventall d'angles d'atac, des de  $-10^\circ$  fins a  $20^\circ$  amb intervals de  $0,5^\circ$ .

El programa calcula per a cada Reynolds 5 gràfiques diferents:

- Gràfica de sustentació/resistència.
- Gràfica de sustentació/ $\alpha$ .
- Gràfica de moment/ $\alpha$ .
- Gràfica de sustentació/posició del centre de pressions.
- Gràfica (sustentació/resistència)/ $\alpha$ .

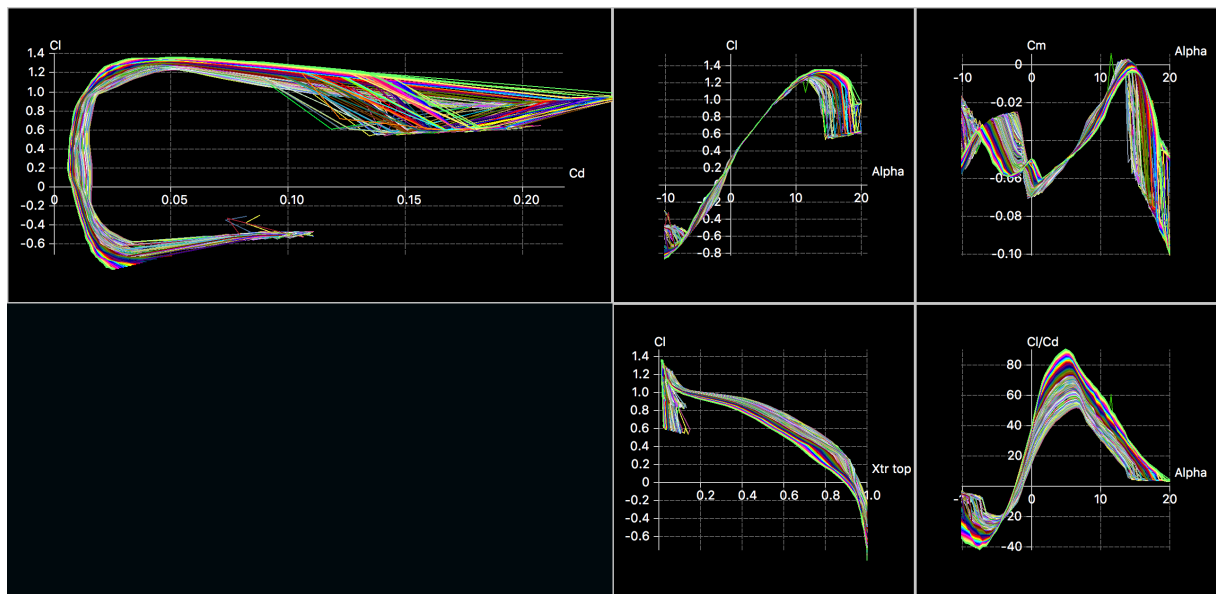


Figura 22: Corbes perfil NACA 2411.

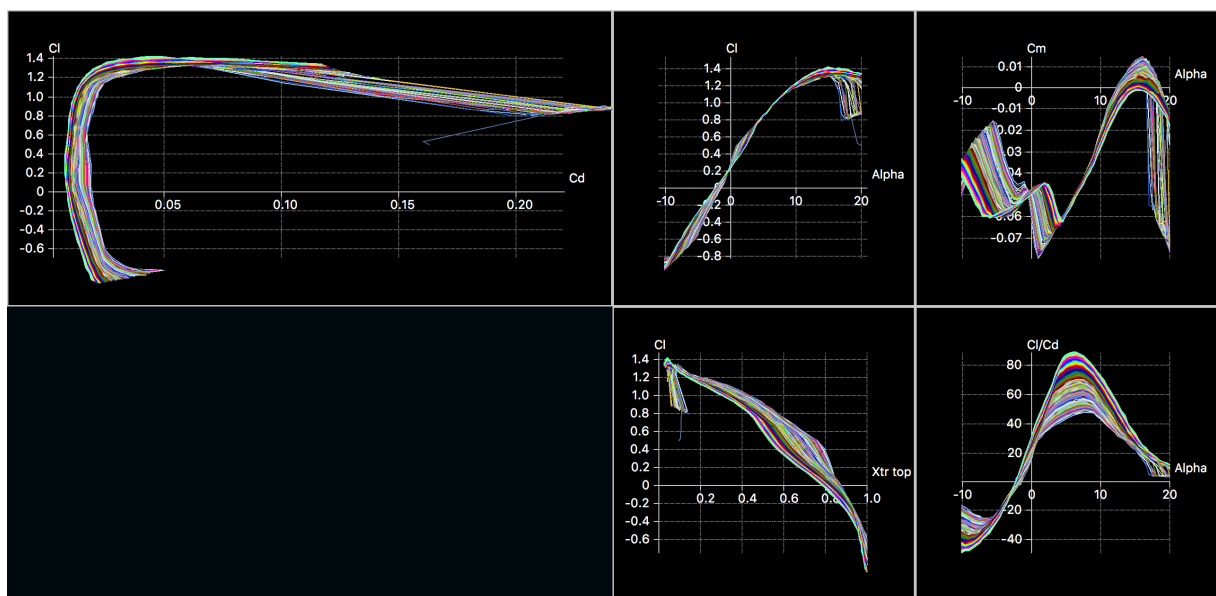


Figura 23: Corbes perfil NACA 2415.

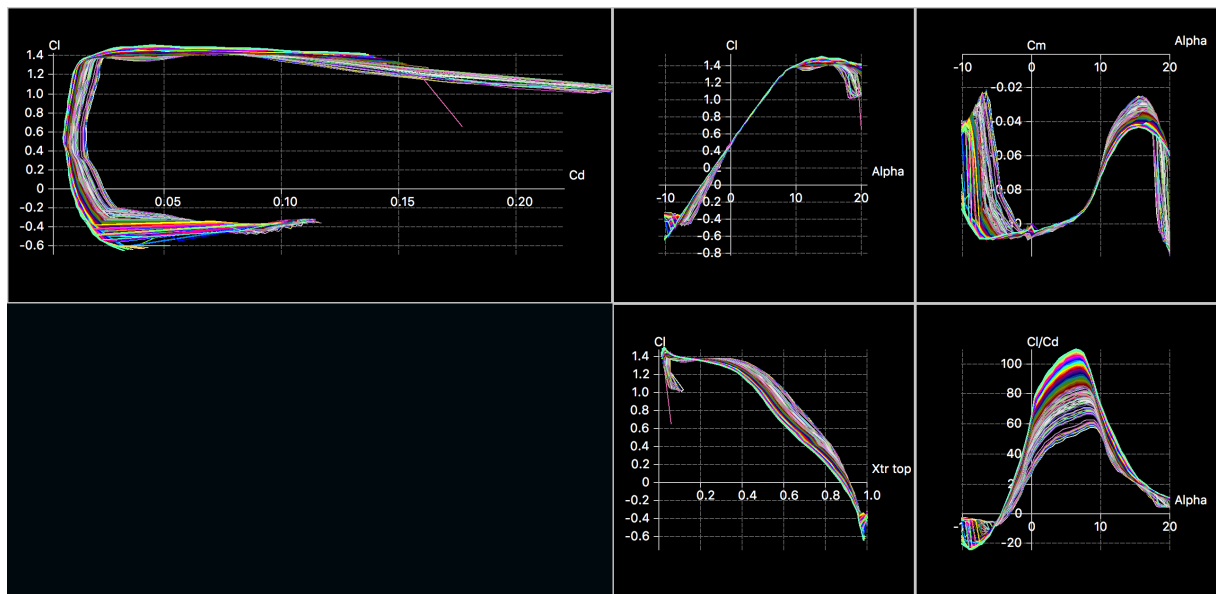


Figura 24: Corbes perfil NACA 4412.

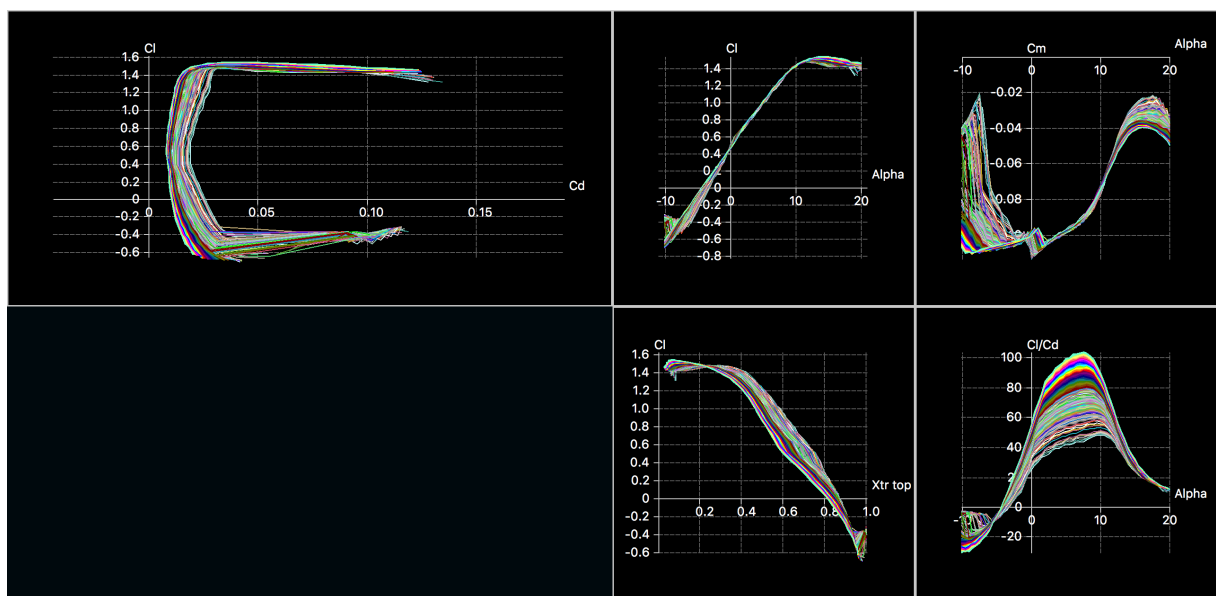


Figura 25: Corbes perfil NACA 4415.



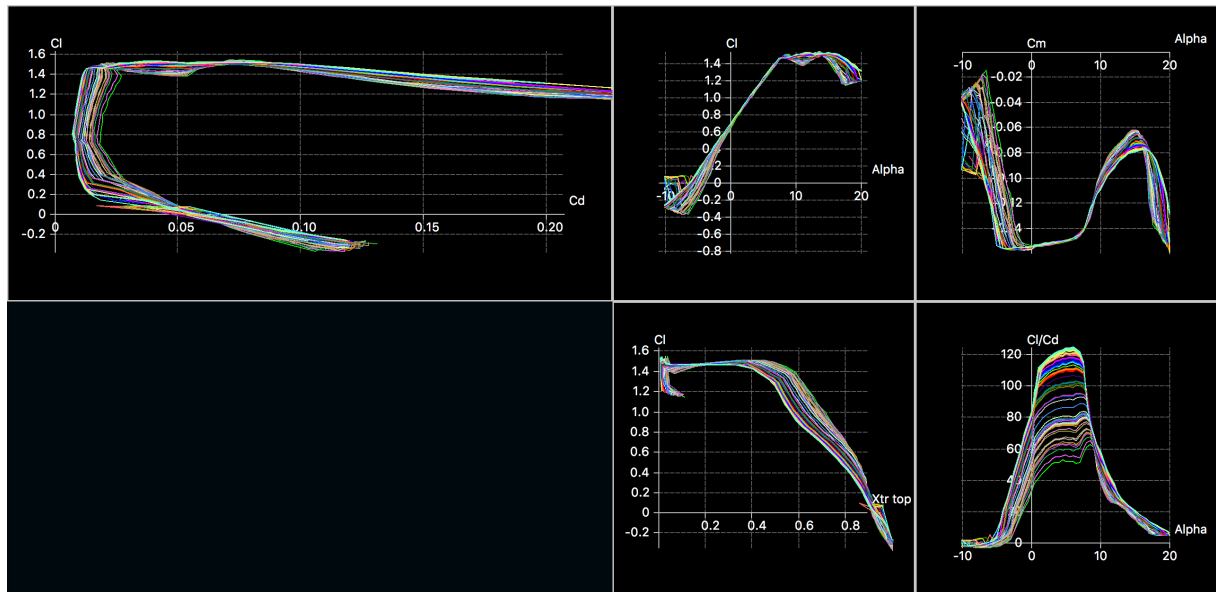


Figura 26: Corbes perfil NACA 6409.

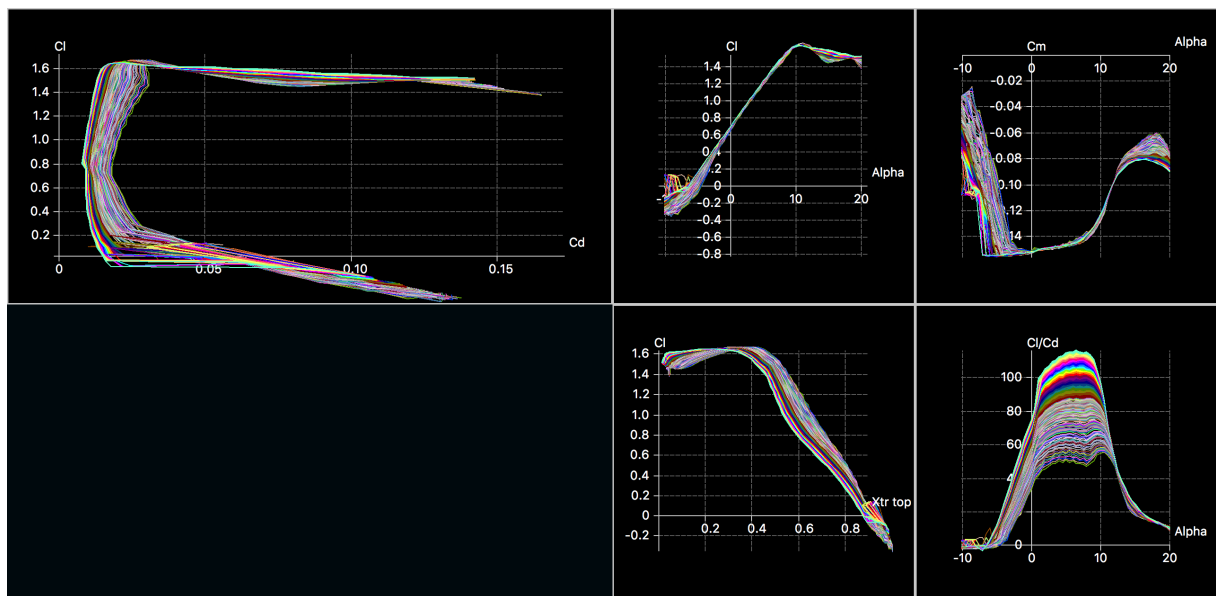


Figura 27: Corbes perfil NACA 6412.

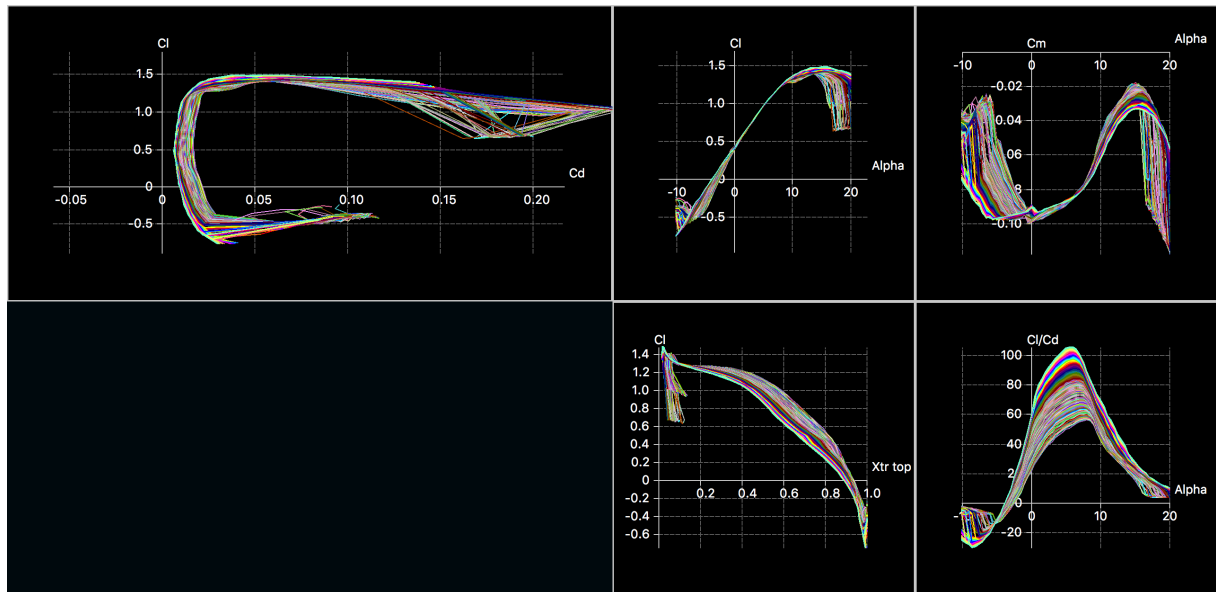


Figura 28: Corbes perfil CLARK Y.

Un cop es tenen les diferents gràfiques per a tots els perfils, s'implementen en un disseny de les ales per veure els resultats que donen els diferents perfils en unes condicions més reals. Abans d'això però, els 5 gràfics obtinguts per a cada un dels perfils mereixen una explicació. Aquests resultats obtinguts per als perfils, ajudaran a decidir quin de tots és la millor opció, per això cal entendre que representa cada una de les 5 gràfiques.

Cada línia d'un mateix color significa que està analitzada a un mateix nombre de Reynolds, augmentant l'angle d'atac des de  $-10^\circ$  fins a  $20^\circ$ .

La gràfica superior esquerra ens dona la relació entre el coeficient de sustentació ( $C_l$ ) i resistència ( $C_d$ ). Es veu com el perfil es troba en un flux turbulent completament desenvolupat, ja que els valors del coeficient de sustentació van augmentant i els valors del coeficient de la resistència es van mantenint de manera constant. Aquest comportament es manté fins a arribar a un punt on per un mateix valor de  $C_l$ , el valor de  $C_d$  augmenta considerablement. Això és degut al fet que en aquest punt el perfil comença a entrar en pèrdua i els resultats deixen de ser fiables. Si s'hagués fet la simulació començant en valors de Reynolds pròxims al 0, s'observaria el flux laminar (valors de  $C_l$  baixos augmentant el  $C_d$  a mesura que augmenta el  $C_l$ , amb valors de  $C_d$  cada cop més alts) i la transició de flux laminar a turbulent.

La gràfica central superior mostra el comportament del coeficient de sustentació ( $C_l$ ) enfront l'angle d'atac ( $\alpha$ ). Aquesta gràfica ens permet saber en quin punt el perfil entra en pèrdua i la sustentació que ofereix per a cada angle d'atac diferent.

La gràfica superior dreta relaciona el coeficient de moment ( $C_m$ ) amb l'angle d'atac  $\alpha$ . Els valors obtinguts en aquesta gràfica són molt importants pel que fa a l'estabilitat de l'UAV. Si el valor de  $C_m$  és negatiu, indica la tendència a picar de l'avió. Aquest moment és produït per les forces aerodinàmiques quan el centre de pressions es troba per davant del centre de gravetat. La solució és utilitzar superfícies horitzontals de cua per equilibrar els moments, però per al nostre cas això no és possible. En els UAV de configuració ala voladora, UAV amb el que s'està

tractant, el que es vol és tenir els valors del coeficient de moment gairebé nuls. Ajudant-se dels flaps de les ales per assegurar l'estabilitat de l'UAV. S'observa que per angles d'atac positius, a mesura que aquest va augmentant, el valor del coeficient de moment va augmentant apropant-se a 0, fins que entra en pèrdua el perfil.

La gràfica central inferior mostra el coeficient de sustentació (Cl) respecte a la posició del centre de pressions del perfil, on l'eix varia de 0 fins a 1, sent 0 l'extrem davanter del perfil i 1 l'extrem més endarrerit. Aquestes gràfiques únicament tenen importància en el control de l'UAV, i influeix també en el càlcul del coeficient de moment. Per aquests motius aquesta gràfica no tindrà molta importància en aquest treball.

La gràfica inferior dreta dona la relació entre els coeficients de sustentació i resistència amb l'angle d'atac. La gràfica ensenya l'efectivitat del perfil en els diferents angles d'atac, és important tenir en compte aquesta gràfica en el disseny final de l'UAV perquè es pugui tenir un millor rendiment en el vol a velocitat de creuer.

## 2.3 Disseny de les ales.

Un cop realitzats els càlculs amb els perfils, per poder seleccionar la millor opció, cal veure el seu rendiment quan són implementats en les ales. Amb l'ajut del programa XFLR5 es dissenyen les ales de l'UAV que es vol estudiar respectant sempre les dimensions de l'UAV real. S'implementa el primer perfil a l'ala i es realitza una anàlisi per veure el seu comportament, un cop acabat es fa el mateix amb els altres perfils sempre amb les mateixes condicions.

Abans de res, per tant, cal dissenyar l'ala. En el programa XFLR5 s'introdueixen les dimensions de longitud, de les cordes, de la fletxa, etc. Afegint també uns petits winglets.

Wing Span	=	1.430 m
xyProj. Span	=	1.400 m
Wing Area	=	0.462 m <sup>2</sup>
xyProj. Area	=	0.457 m <sup>2</sup>
Plane Mass	=	0.000 kg
Wing Load	=	0.000 kg/m <sup>2</sup>
Root Chord	=	0.400 m
MAC	=	0.335 m
TipTwist	=	0.000°
Aspect Ratio	=	4.425
Taper Ratio	=	2.581
Root-Tip Sweep	=	24.028°
XNP = d(XCp.Cl)/dCl	=	0.192 m
Mesh elements	=	902

Figura 29: Dades del disseny.

La figura 29 presenta algunes dades interessants sobre la geometria de l'UAV, com l'*aspect ratio* i el *taper ratio*, on aquest últim és incorrecte, ja que el programa XFLR5 considera com a punta de l'ala la punta del winglet, el seu resultat real és d'1,818.

A continuació es presenta el disseny de les ales a estudiar (amb el perfil NACA 2411 implementat):

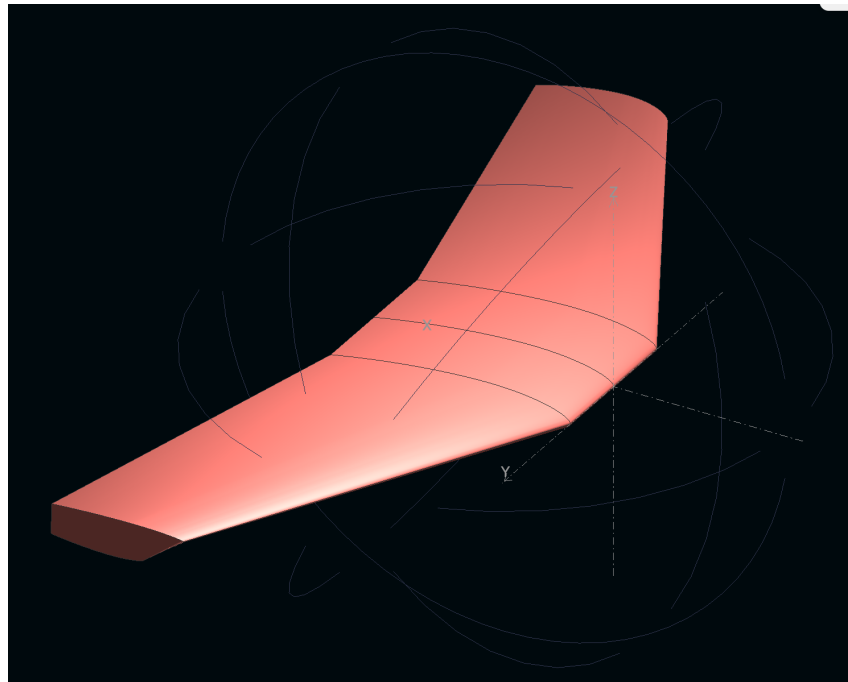


Figura 30: Disseny ales (perfil NACA 2411 implementat).

Es realitza una anàlisi per a cada un dels perfils alars, s'implementen en el disseny de les ales per intentar trobar la millor opció possible. L'anàlisi és en vol a punt fix amb la mateixa velocitat de creuer utilitzada anteriorment en els perfils, 17 m/s, se selecciona el mètode de panells en 3 dimensions i es té en compte la viscositat.

☒ Auto Analysis Name T1-17.0 m/s-Panel

**Polar Type** Analysis Inertia Ref. dimensions Aero data Extra drag

☒ Type 1 (Fixed Speed)  
☐ Type 2 (Fixed Lift)  
☐ Type 4 (Fixed aoa)  
☐ Type 5 (Beta range)

Free Stream Speed = 17,00 m/s  
a = 0,00 °  
b = 0,00 °

Wing Loading = 0.000 kg/m<sup>2</sup>  
Tip Re = 175 000  
Root Re = 453 000

Figura 31: Dades anàlisi de les ales 1.

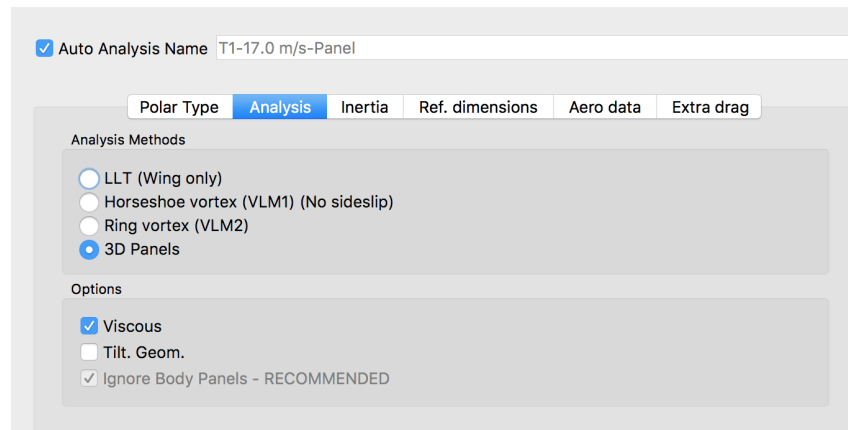


Figura 32: Dades anàlisi de les ales 2.

Es configura també per analitzar en el mateix rang d'angles d'atac que en l'anàlisi dels perfils, des de  $-10^\circ$  fins a  $20^\circ$ .

### 2.3.1 Anàlisi de les ales.

Un cop realitzades les anàlisis, cal extreure els resultats per realitzar les comparacions del comportament de l'ala amb els diferents perfils. S'obtenen 4 gràfiques diferents que permeten analitzar el comportament de l'ala en els diferents casos:

- Gràfica del coeficient de sustentació respecte l'angle d'atac.
- Gràfica del coeficient de sustentació respecte el coeficient de resistència.
- Gràfica de  $CL^{3/2}/CD$  respecte l'angle d'atac.
- Gràfica de  $CL/CD$  respecte l'angle d'atac.

Amb els resultats obtinguts en aquestes 4 gràfiques es pot decidir quin perfil seria la millor opció per a l'UAV.

Es presenten les corbes obtingudes en l'anàlisi i s'interpreten els resultats obtinguts en les gràfiques. A continuació es passa a decidir quin perfil és la millor opció.

Gràfica CL vs Alpha

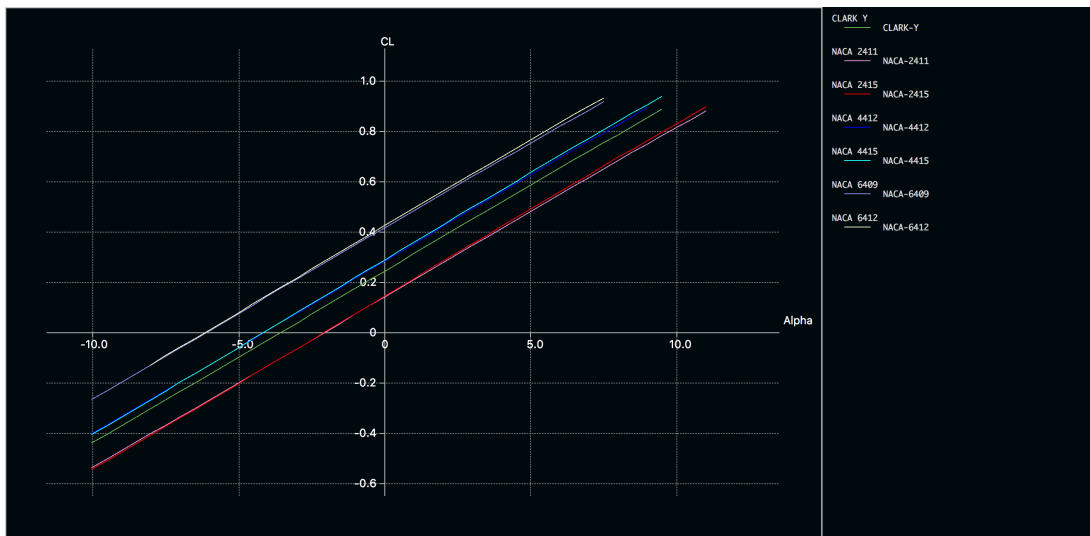


Figura 33: Relació entre el coeficient de sustentació i l'angle d'atac.

En la figura 33 es presenta la gràfica que relaciona el coeficient de sustentació amb l'angle d'atac en els diferents perfils a estudiar implementats en les ales. Els perfils NACA 6409 i NACA 6412 són els que tenen un major coeficient de sustentació per a un mateix angle d'atac, per un altre costat els NACA 2411 i NACA 2415 són els que tenen el coeficient de sustentació més baix respecte l'angle d'atac.

Un major coeficient de sustentació ens permet volar a una major altitud i portar més *payload* per a una mateixa velocitat i altitud. Aquestes qualitats són importants a l'hora de decidir un perfil o un altre, però en les altres gràfiques també s'aporta informació molt rellevant a l'hora d'escollir el perfil.

Gràfica CL vs CD

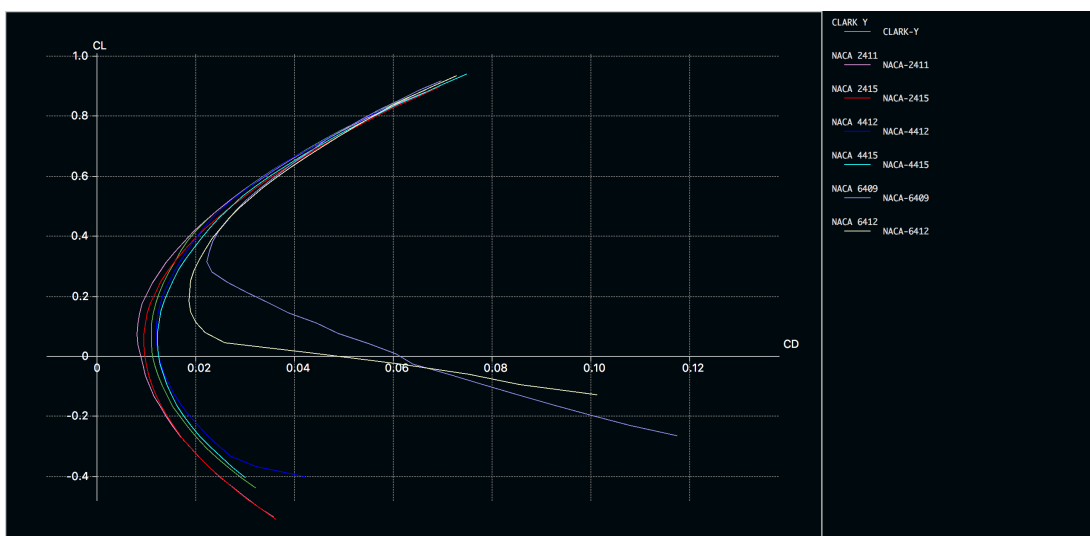


Figura 34: Relació entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència.

En la figura 34 s'observa la gràfica del coeficient de sustentació respecte al coeficient de resistència. En aquesta gràfica es pot observar com el perfil NACA 2411 és el que ofereix una menor resistència per a una mateixa sustentació, seguit de molt a prop del perfil NACA 2415. Els perfils que tenen una pitjor relació són el NACA 6409 i el NACA 6412, exactament el contrari dels resultats extrets en la gràfica anterior.

Els resultats que es poden extreure d'aquesta gràfica són molt importants, ja que minimitzar la resistència i maximitzar la sustentació permet augmentar el rang de vol i la seva autonomia, punts claus en els objectius d'aquest projecte.

**Gràfica  $CL^{3/2}/CD$  vs Alpha**

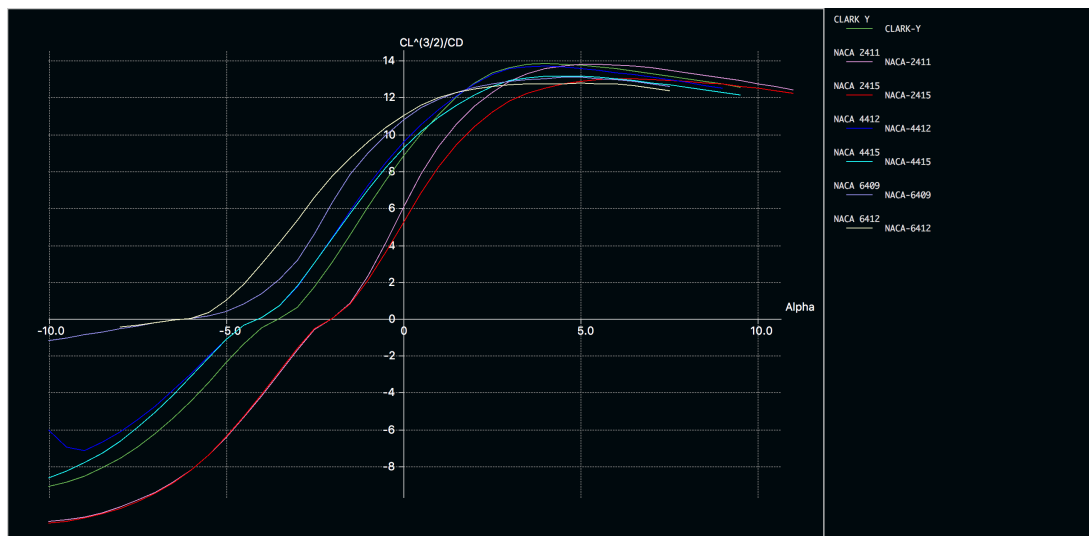


Figura 35: Relació entre  $CL^{3/2}/CD$  i l'angle d'atac.

En la figura 35 es relaciona el quocient entre el coeficient de sustentació elevat a dos terços i el coeficient de resistència, amb l'angle d'atac. Els resultats que es poden extreure en aquesta gràfica són de vital importància per a aquest projecte. Per aconseguir un major temps de vol, s'ha de minimitzar la potència i el consum de les bateries. La potència mínima requerida per mantenir el vol es troba quan la relació  $CL^{3/2}/CD$  està en el seu punt màxim.

Si s'observen les corbes dels diferents perfils, és fàcil de veure que hi ha tres perfils alars que es troben per sobre de la resta, on la relació  $CL^{3/2}/CD$  és màxima. Aquests perfils són el Clark Y, el NACA 4412 i el NACA 2411 per als angles d'atac entre  $5^\circ$  i  $8^\circ$ , els quals són el rang d'angles d'atac amb els que volen normalment aquests tipus d'UAV.

Els resultats d'aquesta gràfica van juntament amb els resultats de la següent gràfica, la de la figura 36, i són els que acabaran decidint quin perfil és la millor opció.

Gràfica CL/CD vs Alpha

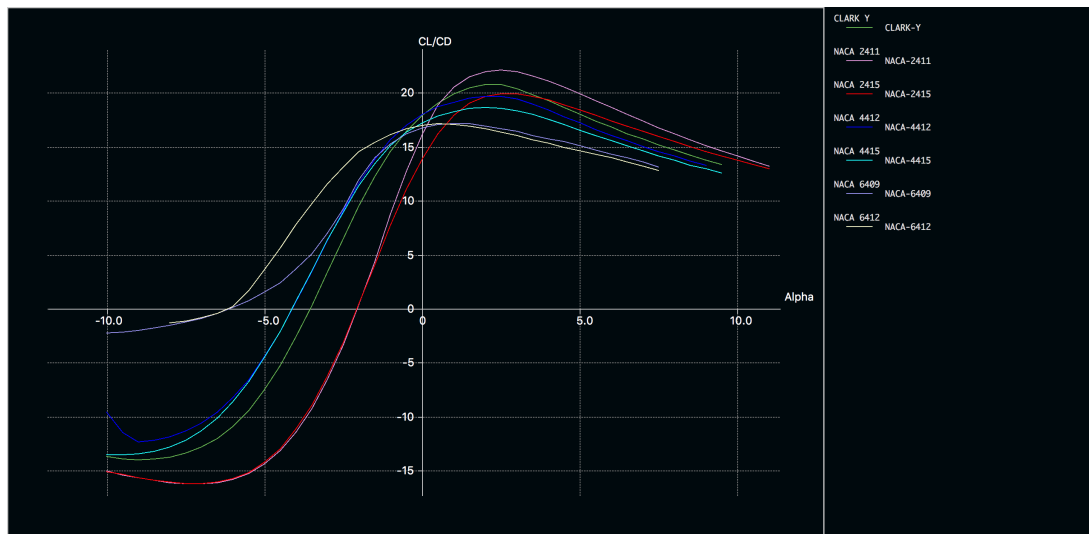


Figura 36: Relació entre CL/CD i l'angle d'atac.

En la figura 36 es relaciona el quocient entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència, amb l'angle d'atac. Entre els objectius d'aquest projecte es troba l'augment de l'abast de l'UAV, el rang màxim que es pot tenir es troba quan el quocient entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència (CL/CD) és màxim. Les corbes de la gràfica ensenyen quins perfils són els més indicats per aconseguir un major rang.

Si s'observen les diverses corbes dels perfils, es veu com amb el perfil NACA 2411 s'obtenen uns millors resultats, seguit del perfil NACA 2415 i el perfil Clark Y, pel rang d'angles d'atac entre 5° i 8°, comentat anteriorment.

### Resultats:

Un cop interpretades les 4 gràfiques obtingudes, es pot realitzar l'elecció del perfil amb el qual es milloraran les condicions de vol.

Repasant els resultats obtinguts, els perfils NACA 6409 i NACA 6412 són els que tenen una millor relació entre el coeficient de sustentació i l'angle d'atac, però també són els que avança entren en pèrdua amb un angle d'atac inferior. Aquests dos perfils podrien semblar uns bons candidats però en les altres tres gràfiques els resultats que han donat no són tan bons com els resultats dels altres perfils.

Si es consideren ara les altres tres gràfiques, aquestes són les més rellevants pel projecte realitzat, ja que els resultats obtinguts permeten saber quins perfils ofereixen una major autonomia i rang de vol.

En la gràfica on es relaciona el coeficient de sustentació amb el coeficient de resistència, figura 34, es pot observar com per un mateix CL fixat, el perfil NACA 2411 és el que ofereix menys resistència, sent els dos perfils mencionats anteriorment, el NACA 6409 i NACA 6412 els que donen pitjors prestacions. Utilitzar un perfil que ofereix uns bons resultats en aquesta gràfica



permet augmentar l'autonomia i el rang de l'UAV.

La figura 35 ensenya, per a un angle d'atac donat, la potència mínima requerida per mantenir el vol, això es dona quan el  $CL^{3/2}/CD$  es troba en el seu màxim. S'observa com per als angles d'atac positius, els que millors resultats ofereixen són el NACA 2411 i el Clark Y, sent millor el primer a partir del  $5^\circ$ .

En la figura 36 es pot observar com pels diferents angles d'atac, el perfil que té un quocient entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència més alt és el NACA 2411. Els perfils amb millors resultats en aquesta relació permeten augmentar l'abast de l'UAV.

Un cop fet el balanç dels diferents resultats obtinguts en les gràfiques, entenent que explica cada una d'elles i quines prestacions ens ofereix cada perfil, valorant si són o no d'interès per al projecte, es decideix que **el millor perfil per a l'UAV, segons els interessos d'aquest projecte, és el NACA 2411.**

Un cop presa la decisió, es compara el perfil escollit, el NACA 2411 amb el perfil de referència, el Clark-Y. Com s'ha comentat al principi de la secció, l'UAV utilitzat no té cap perfil però es comparen els resultats amb aquest, ja que altres models d'UAV molt semblants l'utilitzen.

En la taula 1 es comparen els resultats obtinguts en cada un dels dos perfils en les 4 gràfiques obtingudes:

Gràfica	NACA 2411	Clark-Y	Variació
CL vs CD (CL=0,15)	CD = 0,00826	CD = 0,0112	26,25%
CL vs $\alpha$ ( $\alpha = 6^\circ$ )	0,56	0,65	13,85 %
CL/CD vs $\alpha$ ( $\alpha = 6^\circ$ )	18,25	16,5	10,61 %
$CL^{3/2}/CD$ vs $\alpha$ ( $\alpha = 6^\circ$ )	13,7	15,5	1,48 %

Taula 1: Resultats obtinguts en la comparació entre el perfil NACA 2411 i el Clark-Y.

En la taula 1 s'observa com per a un CL fix (i baix), el perfil NACA 2411 té una resistència inferior al perfil Clark-Y, disminuint fins a un 26,25 %. A mesura que s'augmenta el CL, el coeficient de resistència es va igualant fins a mantenir-se igual per als dos perfils en valors de CL més alts.

Pel que fa a un mateix angle d'atac, en utilitzar el perfil NACA 2411, es disminueix un 13,85 % el coeficient de sustentació respecte al perfil Clark-Y, la diferència no és molt gran, i aconseguir una major sustentació per als diferents angles d'atac no és un dels objectius del projecte.

En els altres dos casos, pel mateix angle d'atac, la relació entre el coeficient de sustentació i el coeficient de resistència augmenta. En la relació CL/CD augmenta un 10,61% i en la relació  $CL^{3/2}/CD$  augmenta un 1,48%. Aquests lleugers augments vistos en els resultats són bons per al projecte, ja que contribueixen en l'augment de l'autonomia i l'abast.

Finalment s'observa com amb el perfil NACA 2411 s'obtinrien millores en el rendiment del vol de l'UAV, també s'observa com el perfil Clark-Y podria ser una segona opció vàlida.

## 2.4 Forces sobre les ales.

Un cop es té seleccionat el perfil, el NACA 2411, es pot elegir un angle d'atac per veure com afecten les distribucions de pressions, entre altres, en l'UAV. L'angle d'atac ha d'estar dins del rang mencionat en l'apartat anterior, entre  $5^\circ$  i  $8^\circ$ . Després de considerar les gràfiques obtingudes, la millor opció és elegir un angle d'atac de  $6^\circ$ , ja que s'ha de jugar amb el CL que proporciona aquest angle d'atac i el rang i autonomia de l'UAV amb aquest angle.

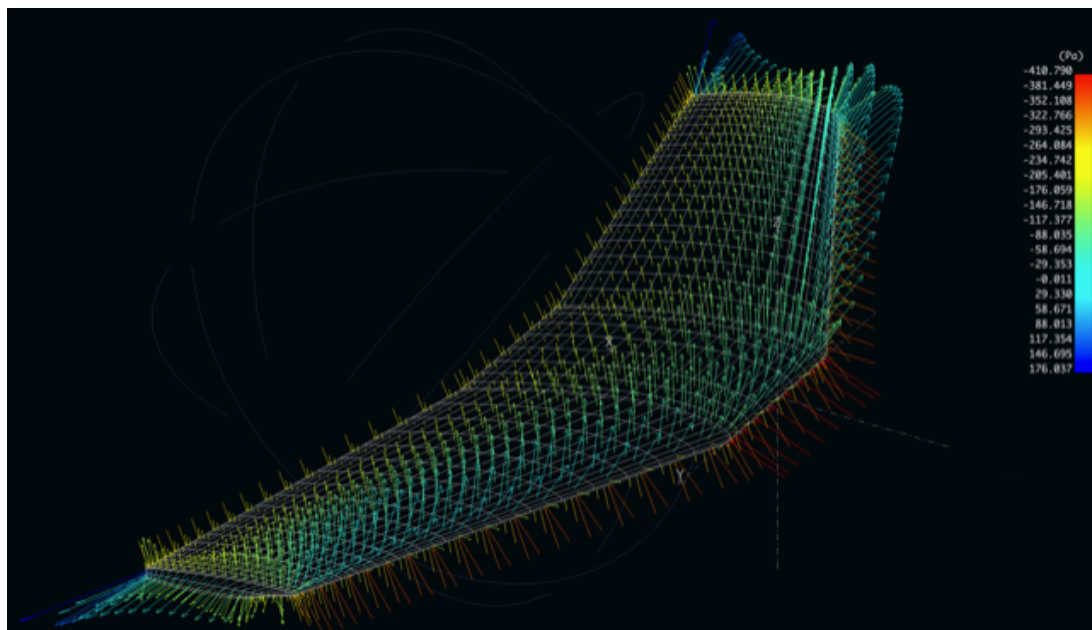


Figura 37: Distribució forces de pressió en cada secció de l'ala en un angle d'atac de  $6^\circ$ .

En la figura 37 s'observen els efectes de les forces aerodinàmiques, la pressió en pascals, en les seccions en què està dividida l'ala. Aquestes seccions s'han repartit de manera que variïn la seva mida fent-se més petites a mesura que s'apropen als límits de l'ala. S'ha elegit aquesta distribució en lloc d'una distribució uniforme, ja que en els límits de l'ala els canvis en les forces que afecten són més significatius.

En la figura 38 es representa la sustentació de l'ala al llarg de la superfície alar, en el 25% de la corda. Aquí és més fàcil d'observar la distribució no uniforme dels panells, com en els límits de l'ala es redueixen de mida i s'ajunten més, ja que es requereix més precisió, com s'ha dit anteriorment.

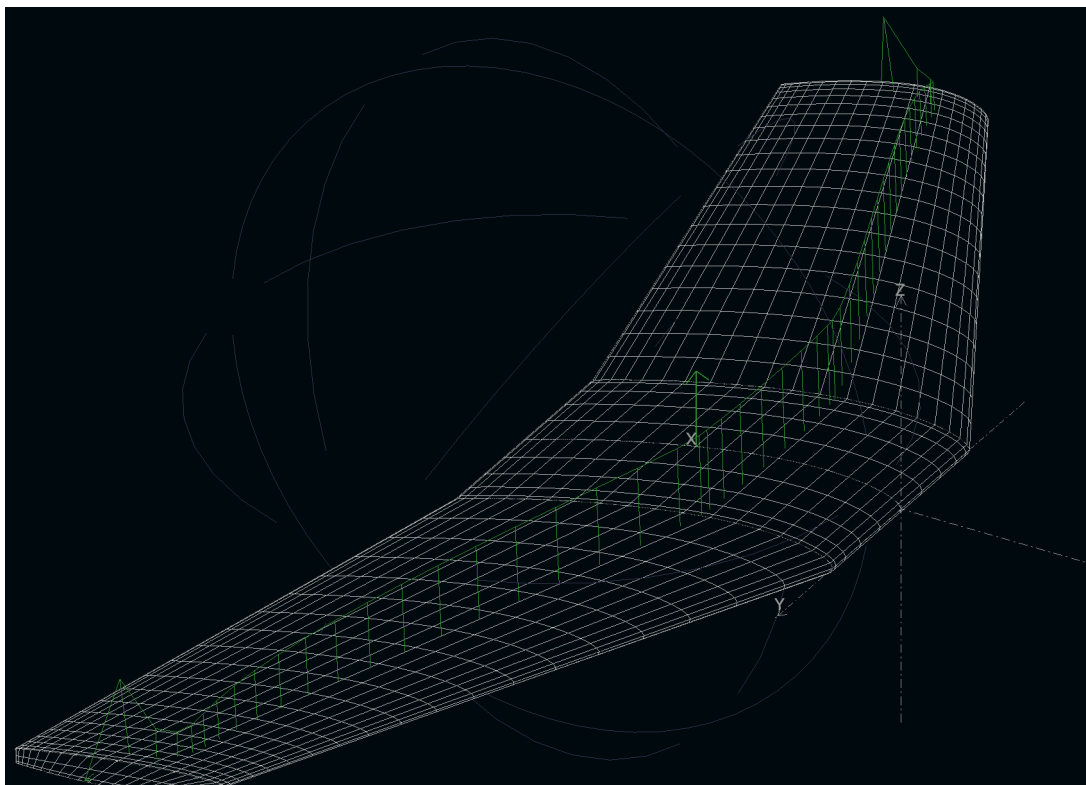


Figura 38: Variació de la sustentació al llarg de l'ala.

### 3 Estudi sobre la robustesa de l'UAV.

En aquest apartat s'introdueix el model de plataforma d'ala fixa volat en l'últim viatge a Oman. D'aquesta manera, es presenten diverses especificacions tècniques sobre l'UAV i, al mateix temps, que es pot fer per aconseguir fer-lo més *antidesert*.

El HP2 és el responsable de realitzar els llargs vols sobre el desert, equipat amb una càmera multi espectral, concretament la *MicaSense RedEdge-M*. Aquesta càmera s'instal·la en l'UAV per inspeccionar el terreny i trobar les àrees de vegetació més propenses a tenir eixams de llagostes i llagostes juvenils. D'aquesta manera poder realitzar operacions de control i prevenció més exhaustives.

#### 3.1 Plataforma d'ala fixa HP2.

L'HP2, figura 39, està conformat pel buc, les dues ales amb configuració delta, els seus corresponents winglets, els alerons i el tub de pitot.



Figura 39: Plataforma d'ala fixa HP2.

Una de les característiques més importants, per la qual va ser escollit aquest model, és l'elevada vida útil que té la seva estructura, gràcies a la robustesa de les ales i el manteniment que tenen aquestes. Sumant a tot això, el potent sistema de propulsió que té per poder realitzar grans ascensos i volar a gran altitud.

L'UAV està fet d'escuma EPO reforçat amb una estructura de fibra de carboni. La seva gran robustesa en operar en condicions adverses com la pols, la sorra, la vegetació dura (canyes i esbarzers) el fa capaç de suportar cops forts i aterrar en àrees irregulars. Per tant, és perfecte per operar en l'hàbitat natural de les llagostes del desert.

També, des del departament d'enginyers d'Hemav, s'ha dissenyat un nou sistema més lleuger que facilita el transport de l'UAV per així fer més senzilles les tasques en el desert. L'UAV es transporta desmuntat en diverses peces, figura 40, d'aquesta manera és més fàcil i còmode de moure tot l'equip. Quan s'arriba al lloc on es vol fer volar, s'uneixen les parts.



Figura 40: Muntatge de l'UAV.

**Especificacions:**

Tipus	Ala fixa
Pes	Max 3,85 kg
Envergadura	1,5 m
Dimensions	150 cm x 72 cm x 19 cm
Material	Escuma EPO Estructura de fibra de carboni
Motor	Sunnysky X2826-8
Càmera	MicaSense RedEdge

Taula 2: Hardware.

Autonomia	85 min
Velocitat de creuer	17 m/s
Mecanisme d'enlairament	Bungee
Angle d'enlairament	20 graus
Aterratge	Paracaigudes

Taula 3: Operacions.

Sobre les especificacions presentades en la taula 2 i la taula 3, cal fer alguns aclariments:

- El pes depèn del payload (diferents càmeres, entre altres, per diferents objectius de la missió) amb el que estigui volant en aquell moment, però el màxim és de 3850 grams.
- Està fet d'escuma EPO juntament amb una estructura de fibra de carboni (barra negra) que serveix al mateix temps per unir el buc amb les ales.
- Acompanyant al motor, hi ha un variador de velocitat felpa TURNIGY modificat pel proveïdor. L'hèlix utilitzada és la *Aeronaut Cam-Carbon* de 13x6,5.
- Respecta la càmera, actualment es vola amb tres models diferents de Micasense RedEdge, depenent quin és més adient per la missió.
- L'atterratge es realitza amb paracaigudes, en cas d'emergència i que el paracaigudes no s'obris, es realitza un aterratge d'emergència amb el ventre de l'UAV (*emergency belly landing*).

Cal remarcar que dins del hardware de l'UAV hi trobem també el pilot automàtic *Pixhawk 2*, el sistema de telemetria de l'UAV i l'ordinador de bord *Odroid-XU4*. On no s'entrarà en profunditat, ja que no és d'interès en aquest apartat.





Figura 41: Plataforma d'ala fixa completa.

### 3.2 Com es pot millorar

Un dels objectius d'aquest projecte és estudiar com fer aquest UAV encara més adequat per poder realitzar amb èxit les missions contra les plagues de llagostes en el desert.

Aquest model d'ala fixa, l'HP2, està modelat expressament per treballar sota condicions extremes en el desert i les millores fetes per aconseguir-lo fer més *antidesert*, com la protecció dels servos i el mecanisme per fer l'hèlix plegable han estat tot un èxit. S'han provat en el desert i la resposta ha estat molt bona, és a dir, s'han evitat els trencaments d'aquestes parts tan crítiques en l'impacte contra el terra.

Per tant, les parts més crítiques de la plataforma d'ala fixa estan ben cobertes i reforçades per poder complir amb la seva missió.

L'escuma utilitzada per fabricar l'UAV és perfecte en quant la relació pes/resistència a l'impacte. Intentar buscar un altre material més òptim per a la seva fabricació, que complís amb tots els requisits necessaris, s'ha considerat que no seria una bona inversió de temps.

L'UAV ha de volar a temperatures molt altes, 40°- 50°, això, amb el temps, pot ser un problema per l'electrònica que porta dintre seu. Per fer front a aquest problema, es proposa pintar l'UAV de blanc amb una pintura tèrmica per fer-lo més aïllant.

Abans d'aplicar aquesta possible solució s'han de tenir en compte diversos aspectes, entre altres:

- L'augment de pes en aplicar pintura.
- L'escuma utilitzada ja té una baixa conductivitat tèrmica, comprovar si valdria la pena reforçar l'UAV amb pintura tèrmica aïllant.
- Comprovar quina diferència hi hauria en fabricar l'UAV amb escuma blanca.

La idea té alguns contres de pes, però abans de descartar-la, es decideix realitzar un estudi per poder valorar objectivament si val la pena o no.

### 3.2.1 Pintura aïllant tèrmica

L'ús de la pintura aïllant tèrmica és una opció que cal estudiar. Sabent el tipus de pintura que es necessita, es fa una recerca en el mercat.

Finalment es decideix fer l'estudi amb la pintura per exterior de la marca Arelux (*Imperlux termic outdoor*), taula 4, ja que de totes les pintures trobades, aquesta és la que presenta unes millors propietats:

Densitat relativa a 23°	0,95-1,05 kg/L
Coeficient de conducció tèrmica (UNE 92202:1989)	$\lambda = 0,056$
Assecat al tacte	1 hora
Assecat total	12 hores
Dissolvent	Aigua
Gruix mínim recomanat	700 micres
Consum aproximat	1 L/m <sup>2</sup>

Taula 4: Propietats *Imperlux termic outdoor*.

Amb totes aquestes dades es calcula el pes que s'afegiria a l'UAV si es pintés.



Per a realitzar aquest càlcul, només es tindrà en compte la superfície superior de l'UAV, ja que és l'única que està sotmesa a la radiació directa del sol i l'única part que es vol pintar.

Com s'ha vist en la figura 40, l'UAV es pot desmuntar, per tant a l'hora de calcular la superfície de l'UAV es fa per parts. Abans de res, aclarir que els winglets no es pintaran, per tant tenim tres parts de l'UAV a les quals volem calcular la seva superfície: les dues ales i el buc (sempre la superfície superior).

#### **Càlcul superfície de les ales:**

Es comença calculat la superfície de les dues ales. Per fer-ho, es calcula la superfície d'una sola ala i el resultat obtingut es multiplica per dos.



Figura 42: Superfície a pintar d'una sola ala.

Per realitzar el càlcul de la superfície d'una sola ala, s'utilitza la següent fórmula:

$$S = \frac{(C_a + C_p)D_{p-a}}{2}$$

On:

- S: Superfície d'una sola ala.
- $C_a$ : Corda de l'ala en l'arrel d'aquesta.
- $C_p$ : Corda de l'ala en la punta d'aquesta.
- $D_{p-a}$ : Distància des de l'arrel de l'ala fins a la seva punta, de manera perpendicular a l'eix longitudinal de l'avió.

A continuació, de forma experimental, es treuen els valors de cada coeficient. En el taller amb l'ajut d'una cinta mètrica, es prenen les tres mesures necessàries:

- $C_a = 40$  cm
- $C_p = 22$  cm
- $D_{p-a} = 49$  cm

Aquests valors se substitueixen en la fórmula i s'obté la superfície d'una sola ala:

$$S = \frac{(40 + 22)49}{2}$$

La superfície d'una ala és de  $1519 \text{ cm}^2$ . Multiplicant el resultat obtingut per dos, s'obté la superfície alar total, que és de  $3038 \text{ cm}^2$ .

### **Càlcul superfície del buc:**

Aquesta superfície és irregular, figura 43, per tant és més complicat de calcular la seva superfície i el resultat que s'obtindrà serà aproximat.



Figura 43: Superfície del buc a pintar.

Des d'una vista de planta de l'UAV, es fa la suposició de què el drone és 2D per calcular la seva superfície, ja que no s'ha pogut disposar del seu modelatge 3D en ordinador que hagués facilitat el càlcul. Tots els càlculs es realitzen a mà descomponent el buc de l'UAV en figures on es pot calcular la seva superfície, figura 44.

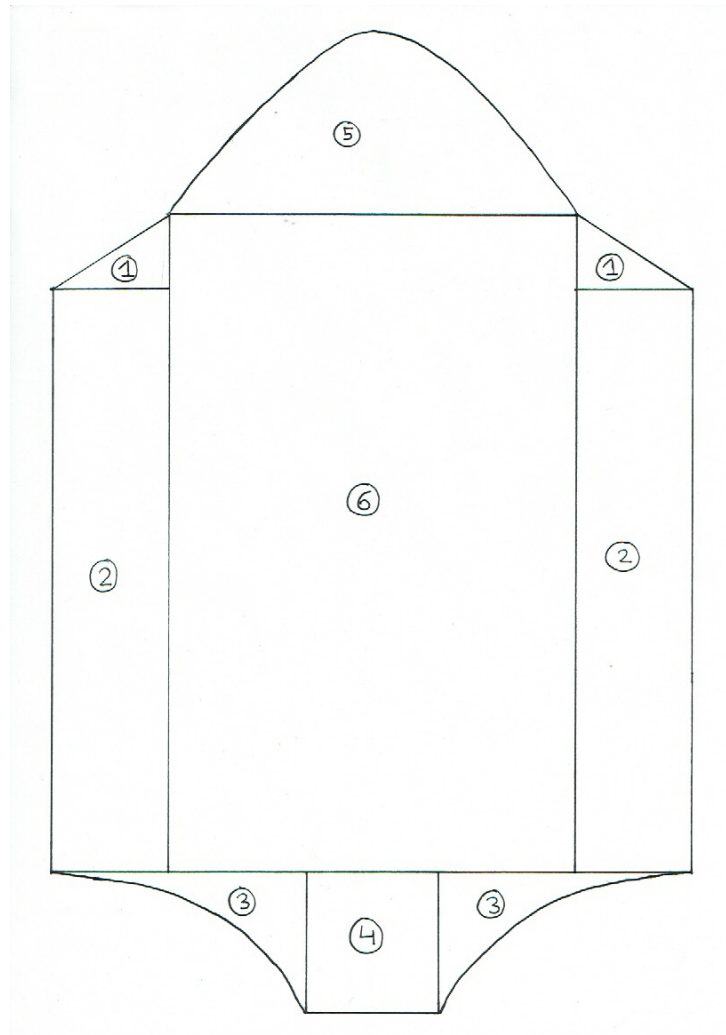


Figura 44: Dibuix esquemàtic del buc.

Com es veu en la figura 44, es divideix el buc en nou parts, de les quals en surten sis grups. Es calcula la superfície de cada grup de manera individual (els repetits es multiplicaran per dos) i finalment se suma el resultat:

- Superfície 1:

La primera superfície són dos triangles rectangles de catets 5,12 cm i 8 cm, per tant el càlcul de la seva superfície és trivial. Tenen una superfície de  $20,48 \text{ cm}^2$  cada un, per tant són  **$40,96 \text{ cm}^2$**  en total.

- Superfície 2:

La segona superfície són dos rectangles de  $8 \times 40$  cm. El càlcul de la seva superfície és trivial. Cada un té una superfície de  $320 \text{ cm}^2$ , que són  **$640 \text{ cm}^2$**  en total.

- Superfície 3:

La tercera superfície és més complexa, observar figura 44, són dos figures geomètriques formades per dos costats rectes i una corba. Els dos costats rectes mesuren 8 i 9,5 cm. Com s'ha fet fins ara, es calcula la superfície d'un, i després es multiplica el resultat per dos.

Per calcular la seva superfície, es calcula l'àrea del rectangle que formen els dos costats rectes i se li resta un quart de l'àrea de l'el·lipse de radis 8 i 9,5:

- La superfície del rectangle és de  $76 \text{ cm}^2$ .

- La superfície de l'el·lipse és el nombre pi multiplicat per als dos semieixos:

$$S = \pi \cdot 8 \cdot 9,5 = 238,76 \text{ cm}^2$$

Cada un té una superfície de  $16,31 \text{ cm}^2$  i en total són  **$32,62 \text{ cm}^2$** .

- Superfície 4:

La quarta superfície és un rectangle de  $9,5 \times 9$ . La seva superfície és de  **$85,5 \text{ cm}^2$** .

- Superfície 5:

La cinquena superfície és complexa, com es pot veure en la figura 44, té la forma d'un tros d'una el·lipse, però com que no es coneixen els seus radis ni el tros d'el·lipse que tenim (no és mitja el·lipse), es compliquen més els càlculs.

El que s'ha fet ha estat aproximar la seva corba a un polinomi de la forma  $y = Ax^2 + Bx$ , i amb les mesures que es tenen, es troben els valors dels coeficients i, finalment, es resol la integral, per així obtenir la seva àrea, figura 45:

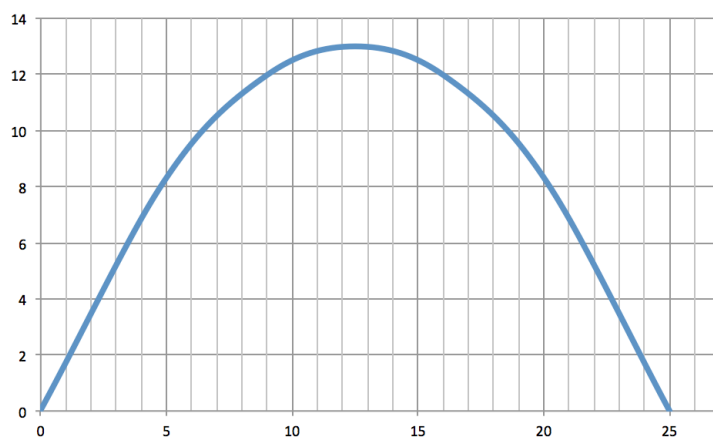


Figura 45: Dibuix superfície 5 amb el polinomi trobat.

Les mesures conegudes són l'alçada de 13 cm i la base de 25 cm.

Es crea un taula de valors seguint la corba de la figura 44:

X	Y
0	0
12,5	13
25	0

Taula 5: Taula de valors.

$$13 = 12,5^2 A + 12,5B$$

$$0 = 25^2 A + 25B$$

Es resol el sistema i es troba  $A=-0,0832$  i  $B=2,08$ , se substitueixen els valors a l'equació i es resol la integral definida des de 0 fins a 25.

Finalment es troba que l'àrea és de **216,67 cm<sup>2</sup>**.

\* La resolució del sistema i de la integral es troben en el **Annex 2**, per si són d'interès.

- Figura 6:

La sisena superfície és un rectangle de 25x45,12 cm. Té una superfície de **1128 cm<sup>2</sup>**.

La superfície total del buc és de **2143,63 cm<sup>2</sup>**.

### Resultats i anàlisi:

Sumant el resultat de les dues ales més el resultat de la superfície del buc, s'obté la superfície total que es vol pintar. Aquesta superfície és de **5181,63 cm<sup>2</sup>**.

Amb aquest resultat obtingut, es fa la conversió a metres i a continuació, amb l'ajut de la taula on se'ns donen les propietats de la pintura, taula 4, es poden saber els litres que necessiten, a continuació es passa a kg.

$$5181,63\text{cm}^2 \frac{1\text{m}^2}{10000\text{cm}^2} \frac{1\text{L}}{1\text{m}^2} \frac{1,05\text{kg}}{1\text{L}} = 0,5441\text{kg}$$

Pintar l'UAV augmentaria el pes total en 544,1 grams. Aquest pes es considera molt elevat i les propietats que pot aportar aquesta pintura en relació al pes afegit que té, no compensen ni de bon tros. **Per tant, pintar tota la superfície superior del drone queda totalment descartat.**

Una altra opció és pintar només la part central, és a dir, la part del buc formada per les superfícies 5 i 6 de la figura 44, ja que és en el seu interior on es troben tots els aparells electrònics els quals són els que pateixen més amb les altes temperatures. De ser així:

$$1344,67\text{cm}^2 \frac{1\text{m}^2}{10000\text{cm}^2} \frac{1\text{L}}{1\text{m}^2} \frac{1,05\text{kg}}{1\text{L}} = 0,1412\text{kg}$$

S'augmentaria el pes en 141,2 grams, segueix sent molt de pes, però en aquest cas es pot tenir en compte aquesta opció.

La pintura Imperlux termic outdoor, a part d'aportar totes les propietats presentades en la taula 3 i per tant tenir una gran capacitat aïllant i tèrmica, és bona contra la humitat i antifloridura, impermeable i amb gran resistència al vapor d'aigua. Però totes aquestes qualitats no són suficients en enfront del pes que aporta, ja que l'escuma utilitzada per fabricar l'UAV, té, entre altres qualitats, una conductivitat tèrmica inferior a la de la pintura.

Per tant, la pintura seria un reforç a la funció d'aïllament que ja està realitzant l'escuma. **Aquest és un altre motiu per acabar descartant aquesta opció.**

Si es pogués trobar una pintura amb una conducció tèrmica inferior a la de l'escuma utilitzada, podria ser una opció vàlida.

Cal destacar també que la conductivitat de l'escuma EPO és la mateixa indiferentment del color d'aquesta, d'entre 0,034-0,038 W/mK.

## 4 Estudi de l'autonomia de vol.

L'objectiu d'aquest apartat és augmentar l'autonomia de l'UAV. Actualment, amb les bateries utilitzades, s'aconsegueixen 85 minuts d'autonomia aproximadament. Per pocs minuts que s'aconsegueixi augmentar aquesta, ja és molta distància que s'aconsegueix sobrevolar de més.

Es presenten les bateries utilitzades actualment, es realitza un estudi de mercat per intentar trobar alguna possible millora, es comprova teòricament i finalment es realitza una prova de camp.

### 4.1 Bateria actual tipus LiPo.

Les bateries tipus LiPo (Polímer de Liti) són bateries d'última generació, ja que ofereixen una excel·lent relació entre capacitat, pes, volum i tensió. Comparades amb les seves antecessores, les Ni Mhi o Ni Cd, aconsegueixen ser més lleugeres, més potents i funcionar durant més temps.

Les bateries LiPo estan formades per cèl·lules de 3,7 V on normalment tenen entre 1 i 8 cèl·lules. Aquestes cèl·lules estan connectades en serie i per saber el voltatge d'una bateria només cal multiplicar al nombre de cèl·lules per 3,7 V.

Aquest tipus de bateries destaquen sobretot pels grans avenços aconseguits en els camps de capacitat i duració. Són més lleugeres amb menys volum i amb més capacitat.

Actualment s'utilitzen dues bateries LiPo de sis cèl·lules de la marca Tattu connectades en paral·lel, figura 46, a continuació es presenta la seva fixa tècnica, la taula 6:

Capacitat	4500 mAh
Voltatge	22,2 V (6S)
Descàrrega màxima continuada	25C
Pes	650 g
Dimensions	138 cm x 44 cm x 50 cm

Taula 6: Especificacions bateria actual.





Figura 46: Tattu 4500mAh 22.2V 6S 25C Lipo Battery Pack.

Com s'ha comentat anteriorment, s'utilitzen dues bateries connectades en paral·lel. Aquesta connexió permet doblar la seva capacitat de 4500 mAh a 9000 mAh, doblar la capacitat de descàrrega màxima continuada de 25 C a 50 C i mantenir el mateix voltatge a 22,2 V.

L'ús de dues bateries es tradueix també en un augment de pes, de 650 grams es passa a 1300 grams i es requereix, al mateix temps, de més espai.

Les especificacions del conjunt format per les dues bateries connectades en paral·lel es presenten en la taula 7. Aquestes dades serviran com a base per buscar bateries que puguin donar unes millors prestacions.

Capacitat	9000 mAh
Voltatge	22,2 V (6S)
Descàrrega màxima continuada	50 C
Pes	1300 g

Taula 7: Especificacions del conjunt format per les dues bateries connectades en paral·lel.

## 4.2 Recerca sobre possibles recanvis.

Partint de les dades que es poden veure en la taula 7, es realitza una recerca extensa sobre les diferents bateries existents que ens poden donar unes prestacions superiors a les que ja es tenen.

Per fer aquesta recerca s'han considerat importants 4 punts:

- Per sobre de tot està la capacitat que ens han de donar les noves bateries, que ha de ser superior o com a mínim igual a les que ja es tenen.
- El pes, ja que normalment un augment de capacitat també vol dir un augment d'aquest.
- El preu d'aquestes noves bateries també juga un paper important,
- La capacitat de descàrrega màxima continuada (C) de les bateries.

S'ha realitzat una recerca bastant extensa on s'han tingut en consideració fins a 13 bateries diferents. D'aquesta manera s'aconsegueix tenir un gran ventall d'opcions i es pot valorar de manera més precisa quina és la que es necessita realment. Totes les bateries que s'han considerat són de tipus LiPo, ja que com s'ha comentat anteriorment, són de les millors opcions que hi ha actualment en el mercat.

En la següent taula en forma de figura s'exposen totes aquestes bateries:

Bateries	Unitats	mAh	mAh totals (paral·lel)	Voltatge	C	Dimensions (mm)	Pes (g)	Pes total (g)	Preu €	Preu total €
1	2	4.500	9.000	22,2 6S1P	25	138x44x50	650	1300	90,99	181,98
2	2	4.500	9.000	22,2 6S1P	60	138x49x47	630,5	1261	84,99	169,98
3	2	5.000	10.000	22,2 6S1P	45	157x46x50	782	1564	122,09	244,18
4	2	5.000	10.000	22,2 6S1P	65	146x51x63	886	1772	80,09	160,18
5	1	10.000	10.000	22,2 6S1P	25	174x62x53	1386	1386	199,99	199,99
6	2	5.000	10.000	14,8 4S1P	90	165x52x44	599	1198	79,35	158,7
7	1	10.000	10.000	14,8 4S1P	15	168x69x40	936	936	64,67	64,67
8	1	10.000	10.000	22,2 6S1P	20	171x70x49	1260	1260	175	175
9	1	12.000	12.000	22,2 6S1P	15	183x77x57	1610	1610	154,9	154,9
10	1	12.000	12.000	22,2 6S1P	15	182x74x48	1395	1395	195	195
11	1	12.000	12.000	22,2 6S1P	15	190x71x55	1539	1539	216,99	216,99
12	1	10.000	10.000	22,2 6S1P	15	172x70x48	1240	1240	155	155
13	2	5.200	10.400	22,2 6S2P	12	108x35x95	682	1364	71,03	142,06
14	1	10.000	10.000	22,2 6S2P	12	170x69x56	1320	1320	109,51	109,51

Figura 47: Llistat total de bateries.

La bateria número 1 és la bateria que s'utilitza actualment. Com es pot veure a la taula, s'han tingut en compte diverses opcions:

Primer de tot s'ha valorat l'opció d'utilitzar una o dues bateries connectades en paral·lel. S'han buscat bateries amb una capacitat de descàrrega màxima continuada més elevada de la que ja es tenia i també d'altres amb una C més baixa, ja que cal valorar totes les opcions possibles. S'observa que quasi totes tenen el mateix voltatge, excepte d'un parell el qual és més baix.

En quant el tema del pes, hi ha opcions on es pot reduir i d'altres on s'augmenta. Amb el preu passa el mateix, són similars al de les bateries actuals, algunes per sobre i altres per sota.

De totes les opcions possibles, s'ha de veure quina és la millor. Amb el tipus de motor utilitzat, es podrien utilitzar tant les bateries que donen 22,2 V com les bateries de 14,8 V, tot i això, aquesta

última opció acaba sent descartada perquè tot i ser suficient, seria molt just per segons quins casos i no es vol córrer cap risc.

Es descarten també les bateries les quals el seu pes total és bastant superior al de les utilitzades fins al moment. Les bateries que el seu pes supera l'actual per 100 grams o menys, se segueixen tenint en consideració encara.

Per similitud i mida es descarten algunes bateries, ja que si la seva llargada és superior a 175 mm, seria bastant complicat adaptar l'espai destinat en el drone per les bateries.

La capacitat de descàrrega màxima continuada (C), indica la màxima capacitat que se li pot demanar a la bateria en algun moment determinat durant el vol (moments crítics com l'enlairament o si es necessita augmentar l'altura de vol), per tant com més C, més capacitat. El drone utilitzat, segons els tècnics d'Hemav, requereix una capacitat de descàrrega màxima continuada bastant petita, només de 5 C aproximadament, encara que una C inferior a 10 no és acceptada per temes de seguretat.

Es comprova aquest fet realitzant un petit càlcul. Es té en compte només motor i el controlador de velocitat, ja que són les dues parts elèctriques del drone que exigeixen més a la bateria:

- El motor necessita 48 A.
- El controlador de velocitat necessita 60 A.

Per calcular la C actual s'utilitza la següent fórmula:

$$C = \frac{0,9 \cdot \text{Amperatge}}{\text{Ah}}$$

On l'amperatge és la suma de la intensitat de corrent que necessita el drone, en aquest cas són 108 A. El 0,9 és un factor de seguretat i els Ah són la capacitat de la bateria utilitzada, en aquest cas són 9000 mAh que són 9 Ah.

Aquesta fórmula ens dona com a resultat la capacitat de descàrrega màxima en el seu punt màxim, per obtenir la capacitat de descàrrega màxima continuada s'ha de dividir el resultat entre dos.

$$C = \frac{(108) \cdot (0,9)}{9} \frac{1}{2} = 5,41/h$$

Com ja s'ha dit abans, bastant petita i totes les opcions contemplades per substituir la bateria serien vàlides.

Finalment, seguint els criteris que s'han anat explicant fins al moment, després de descartar les bateries que no compleixen amb els paràmetres establerts, ens queda una llista de quatre possibles bateries, figura 48:

Bateries	Unitats	mAh	mAh totals (paral·lel)	Voltatge	C	Dimensions (mm)	Pes (g)	Pes total (g)	Preu	Preu total
2	2	4.500	9.000	22,2 6S1P	60	138X49X47	630,5	1261	84,99	169,98
5	1	10.000	10.000	22,2 6S1P	25	174X62X53	1386	1386	199,99	199,99
8	1	10.000	10.000	22,2 6S1P	20	171X70X49	1260	1260	175	175
13	2	5.200	10.400	22,2 6S2P	12	108X35X95	682	1364	71,03	142,06

Figura 48: Llistat final de bateries candidates.

Un cop es té la llista definitiva, cal comprovar si alguna bateria ens ofereix millors prestacions que les actuals. De ser així veure quina és la millor de totes elles.

Es realitzen un seguit de càlculs que serviran per comprovar de manera teòrica els guanys o pèrdues aproximades que es tindrien si s'implementessin aquestes bateries.

#### 4.2.1 Validació teòrica.

Abans de res, es valora quin tipus de bateria hi ha a la llista.

Es tenen dues bateries on només es necessita una sola unitat, les dues ofereixen 10.000 mAh, és a dir 1.000 mAh més que la bateria utilitzada fins al moment. El pes, en una d'elles (la bateria 5) està un pèl per sobre dels 1300 grams i té la mateixa capacitat de descàrrega màxima continuada que la utilitzada, 25 C. El seu preu està lleugerament per sobre del de la bateria que ja es té.

Respecte a l'altra (la bateria 8), el seu pes és inferior als 1300 grams i té una capacitat de descàrrega màxima continuada lleugerament inferior, 20 C. El seu preu també és lleugerament inferior.

Pel que fa a les altres dues bateries, se'n necessiten dues connectades en paral·lel, una (la bateria 2) té la mateixa capacitat que la utilitzada fins al moment, 9.000 mAh en total, el seu pes és lleugerament inferior i la seva capacitat de descàrrega màxima continuada és de 60 C, connectades en paral·lel 120 C. Té un preu per sota del de la bateria utilitzada fins al moment.

L'altre bateria (la 13) té més capacitat total, 1.400 mAh més, la seva capacitat de descàrrega màxima continuada és de 12 C, per tant de 24 C en connexió en paral·lel. El seu pes augmenta lleugerament però el seu preu disminueix respecte a l'actual bateria.

Com s'ha comentat anteriorment, les quatre bateries compleixen amb el mínim demanat referit a la capacitat de descàrrega màxima continuada. Per tant, per decidir quina és la millor bateria es tindrà en consideració el pes i la seva capacitat. Es vol veure com afecten aquests dos factors a l'autonomia de l'UAV.

#### **Pes:**

Primer s'estudia si hi ha millores o no tenint en compte només el pes. És fàcil de veure que les bateries que tenen un pes superior tindran menys temps de vol i les bateries amb menys de pes tindran més temps de vol. Però el punt d'interès en aquest apartat no és aquest, sinó veure quina és aquesta millora o pèrdua per així poder valorar si és o no significativa.

Els resultats es donen en forma de percentatge i minuts sempre comparant cada una de les bateries candidates amb la bateria utilitzada fins al moment.

Per poder tenir constància de com afecta el pes en el temps de vol, ens basarem uns resultats obtinguts de manera empírica en el camp de vol: Sabent que l'UAV té una autonomia de 85 minuts, es va comprovar que, en augmentar en 200 grams el pes total (de 3850 kg a 4050 kg) de l'UAV, la seva autonomia disminuïa aproximadament 15 minuts.

Sabent que en augmentar el seu pes en un 5,19 % es redueix l'autonomia en 15 minuts, es pot deduir la taula 8:

Bateria	Variació del pes de la bateria	Variació del pes total	Temps de vol
2	Es redueix un 3 %	Disminueix un 1,01 %	Augmenta 2,93 minuts
5	S'augmenta un 6,62 %	Augmenta un 2,23 %	Disminueix 6,46 min
8	Es redueix un 3,08 %	Disminueix un 1,04 %	Augmenta 3 minuts
13	S'augmenta un 4,92 %	Augmenta un 1,66 %	Disminueix 4,80 min

Taula 8: Variació de l'autonomia segons el pes.

En la taula s'observa com per molt petita que pugui semblar la variació del pes, es tradueix en guanyar o perdre d'entre 3 a 6 minuts i mig de vol.

Aquest resultat es pot creure que és insignificant, però tenint en compte la velocitat a la qual vola l'UAV, uns 17 m/s, volar, per exemple, 3 minuts més o menys, són 3 km aproximadament que es volen de més o que, per contra, es deixen de volar. Per tant, cada minut és molt important en la tasca de sobrevolar el desert buscant vegetació.

Aquests resultats obtinguts tampoc es poden considerar reals al 100 %, ja que són trets d'una prova empírica, a part només es té en compte el pes de la plataforma d'ala fixa.

Per calcular la variació del pes de la bateria s'utilitzen dues fórmules, sabent que el pes de la bateria utilitzada fins al moment és de 1300 grams, la fórmula per calcular la variació de les bateries on es disminueix el pes és:

$$\text{Variació del pes de la bateria} = \left(1 - \frac{\text{Pes bateria a estudiar}}{1300}\right) \times 100$$

L'altra fórmula, per a les bateries on s'augmenta el pes, és:

$$\text{Variació del pes de la bateria} = \left(\frac{\text{Pes bateria a estudiar}}{1300} - 1\right) \times 100$$

La variació del pes total es calcula també amb dues fórmules, tenint en compte que el pes total de l'UAV és de 3850 grams, la fórmula per a les bateries on es disminueix el pes és:

$$\text{Variació del pes total} = \left(1 - \frac{3850 - (\text{Diferencia de pes entre bateries})}{3850}\right) \times 100$$

L'altra fórmula utilitzada, per a les bateries on s'augmenta el pes, és:

$$\text{Variació del pes total} = \left(\frac{3850 + (\text{Diferencia de pes entre bateries})}{3850} - 1\right) \times 100$$

Per últim, per calcular la variació del temps de vol, es fa un factor de conversió sabent que es perden 15 minuts de vol si s'augmenta el pes total en un 5,19 %:

$$\text{Temps de vol} = \text{Variació del pes total} \% \times \frac{15 \text{ min}}{5,19 \%}$$

### Capacitat:

S'estudia si hi ha millores o no tenint només en compte la capacitat de les bateries. Totes les bateries tenen més o igual capacitat que la que té la utilitzada fins al moment, per tant tot seran guanys o, com a mínim, no es perdrà temps de vol. L'objectiu d'aquest estudi és veure quant de temps s'aconsegueix guanyar amb bateries on la capacitat és superior. Veure si de veritat influeix tant com per tenir aquest fet en consideració i realitzar un canvi de bateries.

Igual que en l'apartat on s'ha parlat del pes, els resultats es presenten en forma de percentatge i de minuts. L'augment de la capacitat de les bateries respecte de la bateria utilitzada en forma de percentatge, i els minuts de vol que es guanyen respecte del vol amb la bateria *original*.

Per poder realitzar aquest càlcul, es treuen abans uns primers resultats que serveixen de base. Les bateries actuals tenen una capacitat total de 9.000 mAh (en connexió paral·lel) que són 540 Amin, si s'aconsegueixen 85 minuts de vol amb aquestes, es té un consum de 6,35 A per minut.

Sabent això, es dedueix la taula 9:

Bateria	Augment de la capacitat de la bateria	Temps de vol amb la nova bateria	Augment del temps de vol
2	No varia %	85 minuts	No varia
5	Augmenta un 11,11 %	94,44 minuts	Augmenta en 9,44 minuts
8	Augmenta un 11,11 %	94,44 minuts	Augmenta en 9,44 minuts
13	Augmenta un 15,56 %	100,74 minuts	Augmenta en 15,74 minuts

Taula 9: Variació de l'autonomia segons la capacitat.

S'observa com un augment de 1.000 o 1.400 mAh de la capacitat es tradueix en 10/15 minuts més de vol.

Aquest augment és molt significatiu, ja s'ha vist en l'apartat anterior que per pocs minuts que es guanyin, ja són molts km de més que es poden sobrevolar. Per tant aconseguir una bateria que pugui proporcionar aquestes prestacions, seria de molt bo per al projecte.

Com que es calcula l'augment del temps de vol exclusivament amb la capacitat, els resultats obtinguts no són del tot reals, però poden servir per tenir una primera idea del que passaria.

Per calcular el percentatge d'augment de la capacitat de les noves bateries respecta la utilitzada fins al moment i sabent que la capacitat total d'aquestes és de 9.000mAh, s'utilitza la següent

fórmula:

$$\text{Augment de la capacitat de la bateria} = \left( \left( \frac{\text{Capacitat bateria nova}}{9.000} \right) - 1 \right) \times 100$$

Per calcular el temps de vol amb la nova capacitat, s'utilitza la següent fórmula, tenint en compte que la capacitat de les bateries es passa de mAh a Amin:

$$\text{Temps de vol amb la nova bateria} = \frac{\text{Capacitat en Amin}}{6,35}$$

L'augment del temps de vol es calcula amb la següent fórmula:

$$\text{Augment del temps de vol} = \text{Temps de vol amb la bateria nova} - 85\text{min}$$

### Resultats:

Un cop es tenen els resultats de com afecten tant el pes com la capacitat, es passa a analitzar-los.

En el cas de la bateria 2, es guanyen quasi tres minuts gràcies al pes però no hi ha millores tenint en compte la capacitat de la bateria. No sembla la millor de les opcions, ja que és una bateria molt semblant a la utilitzada fins al moment amb una mica menys de pes on es guanyen **tres minuts**.

En el cas de la bateria 5, es perden quasi sis minuts i mig per culpa de l'augment de pes, per l'altre costat, es guanyen gairebé nou minuts i mig amb l'augment de la capacitat. Això fa un balanç d'uns **tres minuts**, semblant al cas anterior, no sembla la millor opció.

En el cas de la bateria 8, es guanyen tres minuts gràcies al pes i al mateix temps es guanyen quasi nou minuts i mig amb l'augment de la capacitat. Això suma un total de **dotze minuts i mig**. Una opció a tenir molt en compte.

Finalment, el cas de la bateria 13, es perden prop de cinc minuts per culpa del pes, però es guanyen quasi setze minuts amb l'augment de la capacitat. Això fa un balanç de prop d' **onze minuts**. Una opció a tenir molt en compte també.

Es descarten la bateria 2 i la bateria 5, ja que les millores són molt petites amb comparació a les altres dues bateries, per tant queden dues candidates. Els resultats obtinguts en les altres dos són molt similars, ara cal veure d'on venen aquests minuts que es guanyen.

Amb la capacitat de la bateria 8 es guanyen 9 minuts i amb la capacitat de la bateria 13 se'n guanyen 16. La bateria 8 és més lleugera que la 13, fet que fa augmentar el temps de vol que pot donar, però abans de decidir quina és la millor opció, cal tenir en consideració uns factors. En el temps de vol que pot oferir una bateria, la influència de la capacitat és molt més gran que la influència del pes i més quan el pes de les dues bateries és relativament similar. Per tant, aquests 11 i 12 minuts que ofereixen les bateries 13 i 8 respectivament, no són reals. El temps de vol que es guanya proporcionat per la bateria 13, a diferència de la bateria 8, és causat per la

gran capacitat que té. Aquest fet provoca que en realitat la bateria 13 proporcioni més d'onze minuts més de vol.

Un dels motius que influeix en la decisió, és que en el cas de la bateria 13, se segueix treballant amb dues bateries connectades en paral·lel com fins ara i el drone ja està adequat per això.

Per aquests motius s'acaba decidint l'opció de la **bateria 13**.

El següent pas és comprar la bateria i provar en el camp de vol si s'obtenen resultats positius, és a dir, si el canvi de bateria és un èxit o no.

### 4.3 Prova al camp de vol.

Un cop es tenen les bateries, es comprova si encaixen bé en el seu lloc o s'ha de fer algun retoc a la part on van instal·lades, figura 49. Un cop fet això es veu que les bateries entren justes en el seu lloc, però encaixen. Igual en un futur s'ha d'adequar millor la zona, però per fer la prova servirà de sobres. El pas següent és procedir a provar-les en el camp de vol.

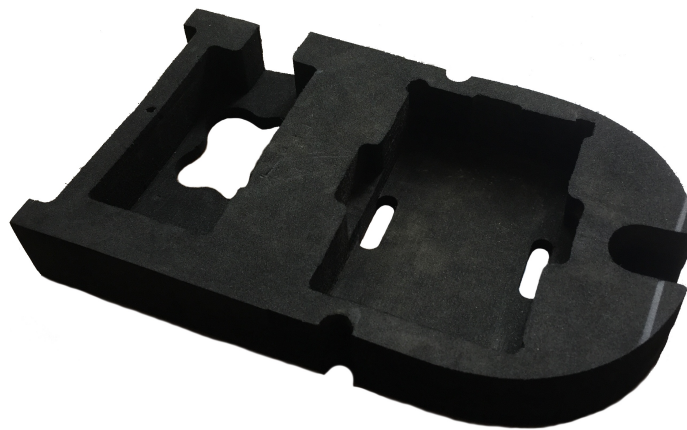


Figura 49: Escuma adequada pel posicionament de la càmera i les bateries.

Un cop en el camp de vol (un terreny a Abrera on se'ns permet volar), es prepara l'UAV amb les bateries noves, figura 50. Aquestes bateries noves són més quadrades que les anteriors, per tant a l'hora d'instal·lar-les, es col·loquen una sobre l'altra en lloc d'una al costat de l'altra.





Figura 50: Noves bateries instal·lades.

Per a aquesta prova, s'utilitza el mateix UAV amb el que fa una setmana es va fer un vol de 85 minuts amb les bateries antigues. Aquest UAV es programa per volar fent el mateix recorregut que va fer l'últim cop per així intentar tenir dades més reals i que es puguin comparar. L'UAV es programa per sobre volar el terreny amb un circuit tancat, figura 51, fins que salta l'avís de poca bateria i l'UAV realitza la maniobra d'aterratge (amb paracaigudes).

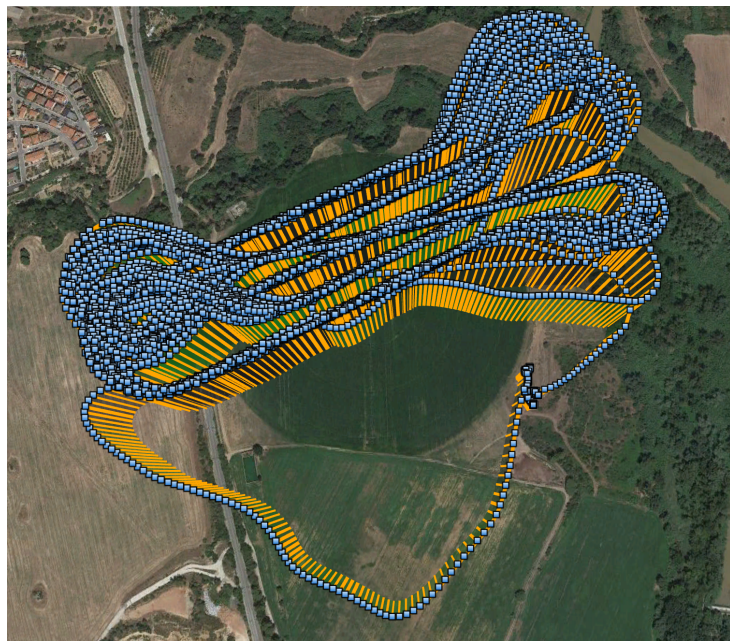


Figura 51: Recorregut del vol realitzat.

En la figura 51 s'observa exactament el recorregut que realitza l'UAV sobre el terreny. L'enlairament i aterratge són en el mateix punt, que es troba en el tros de terra situat a la part dreta i meitat inferior de la imatge, al costat del "cercle verd" que forma la vegetació. L'enlairament es

realitza en direcció nord-est i l'aterratge es fa desviant-se del seu recorregut programat i entrant pel sud.

**Amb les noves bateries s'aconsegueix volar durant 98 minuts, 13 minuts més que amb les altres bateries.**

Segons els càlculs teòrics, l'augment de capacitat d'aquestes bateries ens permetia volar durant quasi 16 minuts més, però l'augment del pes ens feia perdre quasi 5 minuts. Això feia un total d'aproximadament 11 minuts més de vol. La prova al camp de vol ens ha demostrat que es guanyen fins a 13 minuts més. Aquesta petita diferència de dos minuts s'atribueix al que ja s'havia comentat quan s'havia de prendre la decisió de quines bateries comprar: la influència de la capacitat en els minuts de vol, és superior a la influència que té l'augment de pes en aquests.

Per tant, es pot concloure que el canvi de bateries és tot un èxit, ja que tant de manera teòrica primer com de manera empírica després, s'ha demostrat que les noves bateries aporten millores en l'UAV donant més minuts de vol que es tradueixen en més km sobrevolats en les missions realitzades.

## 5 Proposta per a la telemetria.

En aquest apartat es parla breument sobre les comunicacions entre l'UAV i l'estació de terra. Aquest és un punt d'interès per al projecte, ja que poder mantenir comunicació amb l'UAV el màxim de temps possible ajuda molt en l'anàlisi de dades i en el control que es té sobre aquest.

A causa de l'organització del projecte i el desenvolupament que hi ha hagut dins del departament, no s'ha pogut profunditzar molt en aquest apartat i no s'ha pogut treure conclusions concretes. S'ha realitzat només una primera proposta.

### 5.1 Problema amb la telemetria.

Actualment s'utilitza el mòdul de telemetria RFD900+ amb la seva configuració original juntament, figura 52, amb les seves antenes dipol originals.



Figura 52: Mòdul de telemetria RFD900+.

Amb aquest equipament, es va aconseguir fer un vol de fins a 32 km de distància, utilitzant la configuració estàndard i només augmentat la potència.



Figura 53: Equip de telemetria de llarg abast.

Aquest equip, figura 53, és idoni per fer vols de llarga distància, ja que permeten una bona comunicació entre l'UAV i l'estació de terra. L'equip està format per:

- RDF+900 radio mòdem.
- 2x Antenes monopòl d'un quart d'ona 2.1 dBi.
- 2x Antenes dipòl de mitja ona 3dBi.
- 1x Cable USB.
- 1x Cable DF13/GH.

El problema apareix quan hi ha obstacles entre l'UAV i l'estació de terra.

En sobrevolar el desert buscant vegetació, l'UAV s'ha d'introduir en els espais que hi ha entre les dunes, ja que són les zones més crítiques. Aquestes dunes poden arribar a mesurar uns 60 metres d'altura, això provoca que, quan es dona el cas que entre l'UAV i l'estació de terra hi ha una o més dunes, es perd el senyal.

Perdre el senyal comporta dos principals problemes. El primer és que des de terra no es pot controlar l'anàlisi que està fent l'UAV sobre les imatges que està processant. Fet que no preocupa molt, ja que quan es recupera el senyal, l'UAV envia totes les dades, per tant no es perd informació.

El segon problema és que en perdre el senyal, es perd la ubicació total de l'UAV. No es pot saber si l'UAV segueix volant, si ha caigut, si ha xocat o qualsevol altre problema. Els vols entre dunes poden durar molts minuts i és molt perillós no saber quina és la ubicació ni l'estat de l'UAV durant períodes de temps llargs.

Cal donar-li molta importància a aquest segon problema presentat perquè s'ha de tenir en compte que en els països on es vol volar hi ha conflictes armats on perdre l'UAVe pot significar que aquest sigui intervingut i utilitzat amb finalitats bèl·liques.

### **5.1.1 Antenes direccionals i antenes de seguiment.**

La solució començada a estudiar és l'ús d'antenes incorporades en l'estació de terra per intentar potenciar el senyal entre aquesta i l'UAV. Es proposa combinar dues antenes, una antena direccional i una antena de seguiment.

#### **Antena direccional:**

Es poden trobar tant antenes direccionals com antenes omnidireccionals.

- Les antenes omnidireccionals, com diu el seu nom, reben el mateix senyal en totes les seves direccions, però sempre dins del mateix pla.
- Les antenes direccionals es caracteritzen per rebre millor el senyal des d'una sola direcció. És a dir, pot rebre senyals més dèbils o més llunyanes que una antena omnidireccional equivalent. Aquest fet provoca que perdi capacitat de rebre senyals en les altres direccions.

El que es vol és aprofitar aquesta qualitat de les antenes direccionals per intentar trobar solució al problema. Es proposa utilitzar una antena direccional yagi per les seves característiques, figura 54 .



Figura 54: Antena Yagi.

Les antenes yagi es caracteritzen pels seus elements parasitaris que operen mitjançant la irradiaió dels seus senyals en una fase lleugerament diferent de la de l'element actiu. D'aquesta manera, el senyal es reforça en algunes direccions i es cancel·la en altres.

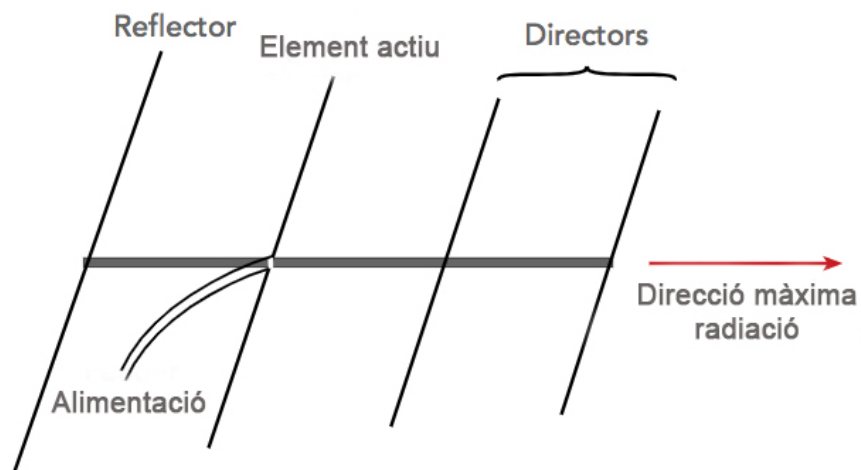


Figura 55: Esquema antena Yagi.

Per obtenir la fase necessària, cada element parasitari es pot fer inductiu o capacitiu, figura 55, cada tipus de reactància té un efecte diferent:

- Inductiu:

Si l'element parasitari es fa inductiu, aquest reflecteix la potència en la direcció contrària a aquest element. Aquest tipus també s'anomena reflector.

Un element es pot fer inductiu baixant la seva ressonància per sota de l'element actiu. Això s'aconsegueix fent l'element uns 5 % més llarg que l'element actiu. Només s'utilitza un element reflector.

- Capacitiu.

Si l'element parasitari es fa capacitiu, aquest dirigeix tota la potència de l'antena en la direcció d'aquest element. Aquest tipus també s'anomena director.

Un element es pot fer capacitiu augmentant la seva ressonància per sobre de l'element actiu. Això s'aconsegueix fent l'element uns 5 % més curt que l'element actiu. Està demostrat que com més elements capacitius, més augmenta de directivitat de l'antena, augmentant el guany i reduint l'amplada de feix.

Vist el funcionament de les antenes yagi, es pot jugar amb els elements parasitaris per intentar aconseguir l'antena perfecta per a la missió. Per tant, pot ser una opció a tenir en compte per intentar no perdre el senyal.

### **Antena de seguiment:**

Les antenes de seguiment, o més conegudes com a *antenes trackers*, són sistemes que rastregen la posició, en aquest cas, de l'UAV. Són un perfecte complement per a les antenes direccionals, ja que les antenes de seguiment, un cop localitzat l'UAV, utilitzen aquesta informació per alinear l'antena direccional amb l'UAV augmentant considerablement l'abast, figura 56.

El seu funcionament, normalment, consisteix a instal·lar un petit GPS en l'UAV que permet a l'antena de terra localitzar-lo en tot moment i seguir-lo.



Figura 56: Antena *trackers* de la marca Arkbird-AAT.

Com s'observa en la figura 56, les antenes de seguiment disposen d'una superfície, la qual apunta a l'UAV en tot moment, adaptada per poder-hi instal·lar l'antena direccional. L'antena *trackers* és fàcil de transportar i de preparar per al seu funcionament, també pot ser instal·lada a un vehicle si es necessita.

S'ha vist que l'antena *trackers* és una opció que podria ser vàlida, però no s'ha pogut aprofundir més en el terreny per veure quin tipus d'antena *trackers* existent en el mercat és més adient per al projecte.

### **Conclusions:**

L'ús d'un sistema basat en la combinació d'una antena direccional yagi i una antena de seguiment és una idea que està en els seus inicis. Pel camí que ha seguit el projecte, no s'ha pogut profunditzar més en aquest àmbit.

Tot i això, s'hauria d'estudiar la capacitat d'aquestes antenes per veure on està el seu límit i sobretot, si són capaces de mantenir la comunicació entre l'UAV i l'estació de terra tot i haver-hi obstacles de per mig, en el nostre cas, dunes.

En ser un sistema que ha d'operar en el desert, és complicat poder realitzar una prova experimental abans de viatjar. Aquest fet complica el futur d'aquesta proposta.

Des d'altres projectes, s'ha proposat la idea de mantenir l'UAV comunicat per satèl·lit i que aquest envii la seva posició cada X temps a la central. Aquesta és una alternativa que s'ha de tenir també en compte, ja que si funciona en altres projectes similars, seria una opció molt més vàlida que la proposada en aquest apartat.

## 6 Pressupost.

A continuació es presenta el resum del pressupost total d'aquest TFG. En aquest pressupost s'ha recollit el cost que hi hauria en desplaçaments, material i en cost humà.

En l'altre document entregat juntament amb la memòria es presenta una informació més detallada sobre el pressupost.

### Pressupost Total

Tipus de Cost	Cost total
Desplaçament	166 €
Instruments	183,86 €
Cost Humà	7.050 €
<b>Total</b>	<b>7.399,86 €</b>

Taula 10: Pressupost total.



## Conclusions

Per concloure el projecte, es realitza un balanç de què s'ha fet i el que s'ha aconseguit. Al llarg de la memòria s'han anat exposant els diferents resultats que aquí es recolliran.

*Desert Locust* és un projecte que porta en actiu des del 2015 i involucra a moltes persones. Continuar avançat i desenvolupant aquest projecte és de vital importància per tots els països involucrats al nord d'Àfrica, per això totes les col·laboracions possibles són ben vingudes.

El meu projecte s'ha centrat en una petita part però molt important com és l'UAV. Moltes propostes i idees es proposen i es desenvolupen, però molt poques tiren endavant i són implementades finalment. Aquest TFG n'és un exemple d'això.

A continuació s'exposen les conclusions finals extretes, juntament amb els possibles passos a seguir en un futur.

### Milliores Tècniques

- Els perfils alars poden marcar la diferència en el vol d'un UAV, per aquest motiu, trobar la millor opció per l'UAV que s'utilitza per sobrevolar el desert seria un gran avenç.

Es parteix d'un UAV sense cap perfil alar, per aquest motiu, trobar el perfil alar adient, pot augmentar el rendiment de l'UAV. S'estudien diferents perfils alars entre els quals hi ha un que serveix com ha referència per comparar els resultats i al mateix temps pot ser una solució.

Després de simular els perfils alars amb les condicions de vol que es troba l'UAV real, implementar aquests perfils a un disseny en 3D de les ales d'aquest i simular-les també en les mateixes condicions, es troba el millor perfil per al nostre cas. Aquest perfil és el NACA 2411.

Observant les gràfiques es pot veure com el perfil NACA 2411 és l'opció que millors resultats ens ofereix en els camps que més ens interessin, augmentar l'autonomia i l'abast de l'UAV. S'observa que, respecte al perfil de referència, té una millor relació CL vs CD en coeficients de sustentació baixos i igualant-se en CLs més alts, arribant a tenir un guany d'un 26,25% respecte al perfil alar de referència. També es destaca com l'eficiència de l'UAV (CL/CD) augmenta un 10,61% respecte al perfil de referència, fet que permet augmentar l'autonomia i l'abast de l'UAV.

Tots aquests resultats presentats en tot aquest apartat, es podria considerar que en la realitat són encara superiors, ja que s'haurien de comprovar amb un UAV sense cap perfil alar.

Aquesta hauria de ser la direcció que seguís aquest estudi teòric, portar-ho a la pràctica. Fabricar un UAV amb el perfil alar NACA 2411 i comprovar si amb aquest nou perfil es pot augmentar l'eficiència d'aquest i per tant augmentar l'autonomia i l'abast en els vols.

- S'ha trobat un UAV molt robust, compacte i lleuger, perfecte per desenvolupar la seva missió principal, sobrevolar el desert en condicions extremes.

S'ha estudiat la possibilitat d'utilitzar una pintura aïllant tèrmica per pintar la part de la plataforma d'ala fixa exposada al sol. Després d'analitzar el resultat s'ha vist que no era una opció viable a causa de l'augment de pes que suposaria.

Aprofitant aquests càlculs, va sorgir la idea de pintar només la part central, on es troba la part elèctrica del drone. Es va concloure que l'augment de pes no era tan exagerat com en el primer estudi, però que per les qualitats que aportava la pintura no valia la pena.

Si en un futur es pogués trobar algun tipus de pintura amb unes millors prestacions, tant en densitat com en l'àmbit d'aïllant tèrmic, podria ser una opció molt vàlida a tenir en compte.

- Augmentar l'autonomia de vol sempre és un gran avanç per al projecte. Cada minut que es pugui guanyar, és molt terreny que es pot inspeccionar de més. Apart, aquest estudi es pot complementar a la perfecció amb l'estudi sobre els perfils alars. Per aquest motiu s'ha fet gran èmfasi en aquest apartat.

A causa de la gran importància donada, s'ha volgut fer un extens estudi de mercat on s'ha intentat valorar el màxim d'opcions possibles comparant-les entre elles per obtenir la millor opció.

Després de realitzar una sèrie de càlculs teòrics, s'ha trobat un conjunt de bateries on es creu que es podrien guanyar minuts. Finalment s'ha conclòs escollint una d'aquestes, la que s'ha considerat, per diversos motius, que és la millor opció per al projecte, la bateria 13.

La nova bateria permet guanyar fins a 11 minuts més de vol, segons els càlculs realitzats. Amb aquests resultats, s'ha procedit a comprar les bateries i fer proves al camp de vol, d'aquesta manera veure realment quin és l'abast d'aquestes noves bateries.

Després de realitzar les proves en el camp de vol amb les noves bateries, s'ha comprovat que amb aquestes s'aconsegueixen fins a 13 minuts més de vol. Aquest és un valor molt semblant al calculat de manera teòrica. El resultat obtingut és lleugerament superior al calculat, ja que, com ja s'ha explicat, l'augment de la capacitat de les noves bateries, té una influència real més gran que el lleuger augment de pes d'aquestes.

Es pot afirmar que s'han aconseguit millores i que, per tant, l'estudi i les proves han estat tot un èxit. Complementar aquestes millores obtingudes amb el canvi de bateria amb les millores obtingudes en l'estudi dels perfils alars, hauria de ser el següent pas a realitzar.

- Pel que fa a la telemetria, s'han fet petits avenços en com es podrien millorar les comunicacions entre l'UAV i l'estació de terra. No tenir constància de la ubicació de l'UAV durant molts minuts, és una situació que s'hauria d'evitar sigui com sigui. La falta de temps i la direcció que ha seguit el projecte no han permès plantejar més que primeres propostes per intentar solucionar el problema.

L'ús proposat de combinar dues antenes, una de seguiment i una direccional, està encara en una fase molt primària. Sembla que pot ser una solució a tenir en compte en un futur, sempre i quant es pugui comprovar que realment el senyal és capaç de travessar les dunes del desert.

Aquesta és la direcció que hauria de seguir aquest estudi, trobar unes antenes en el mercat que puguin treballar en les freqüències necessàries i que juntes puguin donar una cobertura més extensa. Caldria fer proves de camp comprovant si poden travessar altres objectes, fet que complica més l'estudi pel fet de no poder realitzar proves reals amb dunes.

En aquest camp, des d'un altre projecte, concretament el *Projecte Freeda*, s'ha proposat solucionar aquest problema via satèl·lit enviant la seva ubicació cada X temps. Si aquesta proposta té èxit, guanyaria molts punts per ser implementada també en el projecte de les llagostes del desert. Aquesta solució, al mateix temps, garanteix seguretat sobre l'UAV, ja que se'l podria tenir controlat en tot moment.

## **Impacte Social**

*Desert Locust* és un projecte d'àmbit internacional que ajuda a combatre les plagues de llagostes que afecten milions d'habitants del nord d'Àfrica. Tots els avenços i desenvolupaments realitzats dins del projecte afecten sigui d'una manera directa o indirecta a tota aquesta població.

Per petita que sigui la contribució d'aquest TFG dins de tot el projecte *Desert Locust*, si amb els avenços descrits en aquest treball s'aconsegueix obtenir millores que poden ser utilitzades en missions reals, ja serà un gran èxit.

S'aconsegueix un UAV més eficient aerodinàmicament, que permet volar durant més temps i més lluny, aquest gran avanç que s'aconsegueix sumat al temps que es guanya amb el canvi de bateries, té un gran impacte social. Millorar aquestes prestacions de l'UAV significa menys distància a recórrer amb cotxes pel desert les persones encarregades de dur a terme les missions. Més ràpid es podrà dur a terme la feina, més fàcil serà i sobretot menys risc hauran de córrer les persones encarregades.

## **Compromesos amb la RSC**

La Responsabilitat Social Corporativa (RSC) és una forma de dirigir les empreses mirant al futur, apostant per la sostenibilitat i la responsabilitat. Basat en la gestió dels impactes que la seva activitat genera sobre els seus clients, empleats, accionistes, comunitats locals, medi ambient i societat en general.

Les millores i les solucions que s'han plantejat al llarg d'aquest treball estan totalment compromeses amb els tres pilars bàsics (economia, medi ambient, social) que cada empresa i enginyer han d'interioritzar i aplicar.

Aquesta solució està vinculada a l'activitat de l'empresa i té una vocació de permanència. Està orientada a la millora i la protecció del medi ambient i al creixement sostingut de les comunitats locals, com ara el país o el continent.

Aquest projecte s'ha basat en una base sòlida orientada a crear una solució per a la protecció del medi ambient i la millora de la qualitat del treball. Tot això a través d'una tecnologia responsable, sostenible i en auge, com la UAV.

## Bibliografia

- [1] AIRFOIL TOOLS. CLARK Y AIRFOIL (*clarky-il*). Recuperat 28 juliol, 2019, de <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>
- [2] DEPERROIS, A. D. ANDRÉ. (2019, març). Overview of the theoretical background in XFLR5. Recuperat 19 juliol, 2019, de <http://www.xflr5.tech/docs/Part%20I:%20Theoretical%20overview.pdf>
- [3] ANTHONY C. CAPUTO, A. C. C. (2014). *Wireless Networked Video*. In (Eds.), *Digital Video Surveillance and Security* (pp. 145–204). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420042-5.00005-8>
- [4] *Antenna Tracking — Copter documentation*. Recuperat 13 maig, 2019, de <http://ardupilot.org/copter/docs/common-antenna-tracking.html>
- [5] BATERIAS LI-PO. (2016, 20 maig). Recuperat 15 maig, 2019, de <http://www.baterialipo.es/>
- [6] *Conceptos básicos en las baterías LiPo: Tensión, capacidad, descarga y conexión de elementos*. Recuperat 15 maig, 2019, de <http://www.cochesrc.com/conceptos-basicos-baterias-lipo-tension-capacidad-descarga-y-conexion-de-elementos-a2627.html>
- [7] DESIGNTHEMES, D. *Elegir una batería LiPo | Tienda y Tutoriales Arduino*. Recuperat 15 maig, 2019, de <https://www.prometec.net/elegir-bateria-lipo/>
- [8] ELECTRONICS NOTES, E. N. *Understand Yagi Antenna Theory | Yagi Antenna Basics | Electronics Notes*. Recuperat 13 maig, 2019, de <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/yagi-uda-antenna-aerial/theory.php>
- [9] HEMAV FOUNDATION, COMMISSION FOR CONTROLLING THE DESERT LOCUST IN THE WESTERN REGION (CLCPRO) CENTRE NATIONAL DE LUTTE ANTIACRIDIENNE (CNLA) MAURITANIE DESERT LOCUST INFORMATION SERVICE (DLIS) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *Action and cost plans*. 2018
- [10] HEMAV FOUNDATION. *dLocust. Oman field test debriefing*. 2019.
- [11] HEMAV FOUNDATION. *Drones for the Desert Locust. Oman field trials*. 2019.
- [12] HOBBYKING, H. B. *Arkbird-AAT Auto Antenna Tracker System w/Ground and Airborne Module*. Recuperat 15 maig, 2019, de [https://hobbyking.com/en\\_us/arkbird-aat-auto-antenna-tracker-system-w-ground-and-airborne-module.html?\\_\\_store=en\\_us](https://hobbyking.com/en_us/arkbird-aat-auto-antenna-tracker-system-w-ground-and-airborne-module.html?__store=en_us)
- [13] *Imperlux termic outdoor*. Grupo Arelux.DOC.112-rev.3/Enero 2017
- [14] MATTHEW NEELY, M. N., ALEX HAMERSTONE, A. H., CHRIS SANYK, C. S. (2013). *Basic Radio Theory and Introduction to Radio Systems*. In (Eds.), *Wireless Reconnaissance in Penetration Testing* (pp. 7–43). <https://doi.org/10.1016/B978-1-59-749731-2.00002-8>
- [15] NAVEGAR, N. (2015, 13 octubre). *Baterías. Capacidad Real*. Recuperat 14 maig, 2019, de <http://www.navegar.com/baterias-capacidad-real/>

- 
- [16] NICOLÁS RUIZ, N. R. (2016, 13 gener). *rba-ingenieros* | *Single Post*. Recuperat 15 maig, 2019, de <http://rbaingenieros.wixsite.com/rba-ingenieros/single-post/2015/2/8/BATER%C3%8DAS-DE-ACUMULACI%C3%93N-CAPACIDAD-REAL-Y-CURVA-DE-DESCARGA>
- [17] *Paneles Solares* | *Auto Solar*. Recuperat 26 maig, 2019, de <https://autosolar.es/paneles-solares>
- [18] SUNNY LEE, S. L. MR. *Polyolefin foams provide attractive solutions for thermal insulation of pipes in buildings*. Recuperat 22 maig, 2019, de [https://www.sabic.com/assets/en/Images/SABIC-Polyolefin-foams-provide-attractive-solutions-for-thermal-insulation-of-pipes-in-buildings\\_tcm1010-7191.pdf](https://www.sabic.com/assets/en/Images/SABIC-Polyolefin-foams-provide-attractive-solutions-for-thermal-insulation-of-pipes-in-buildings_tcm1010-7191.pdf)
- [19] TURBO HOBBY, T. H. (2013, 26 maig). *Baterías de LIPO, características y consejos*. Recuperat 14 maig, 2019, de <http://blogturbohobby.blogspot.com/2013/05/bateriaslipo.html>